



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

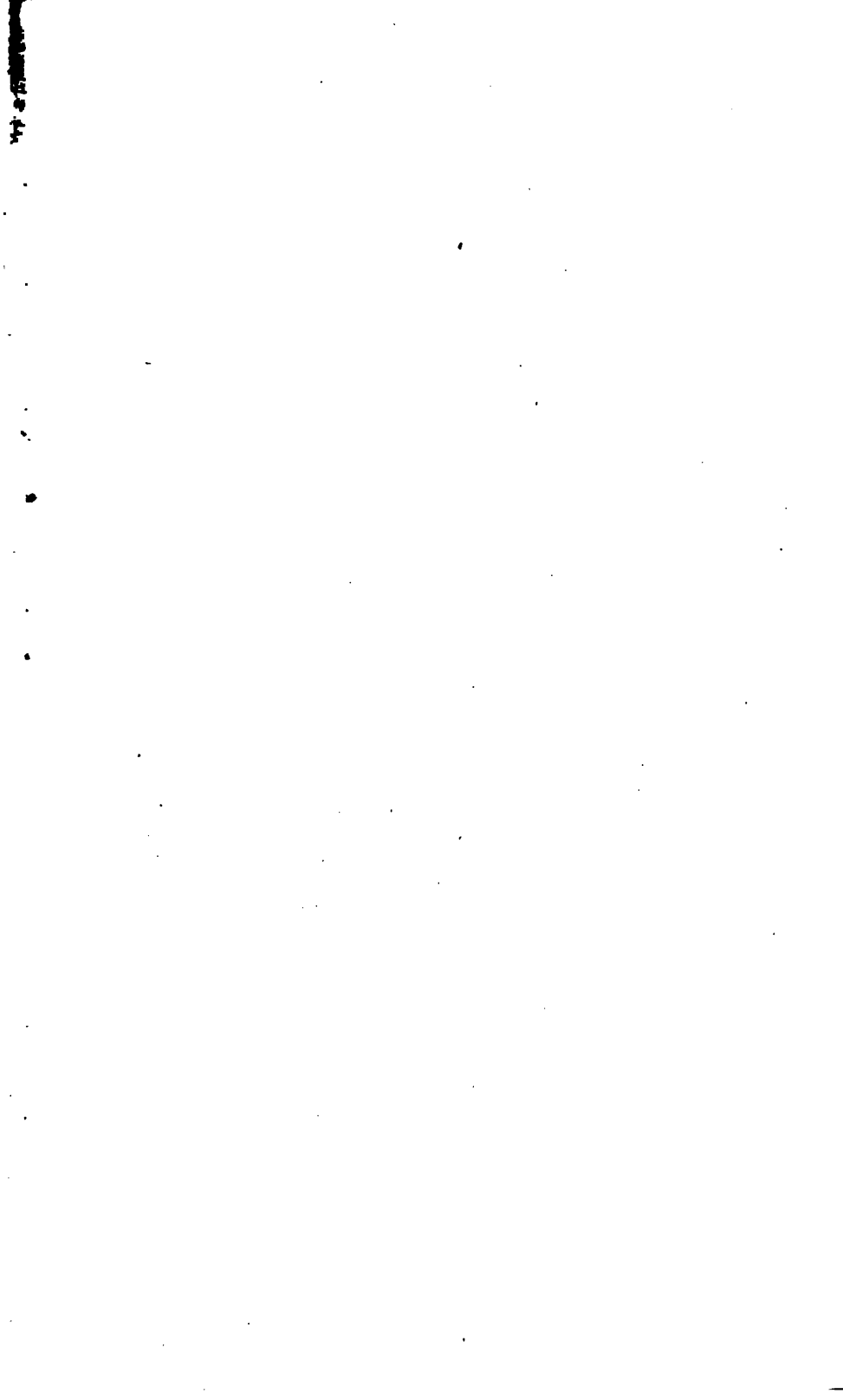
En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

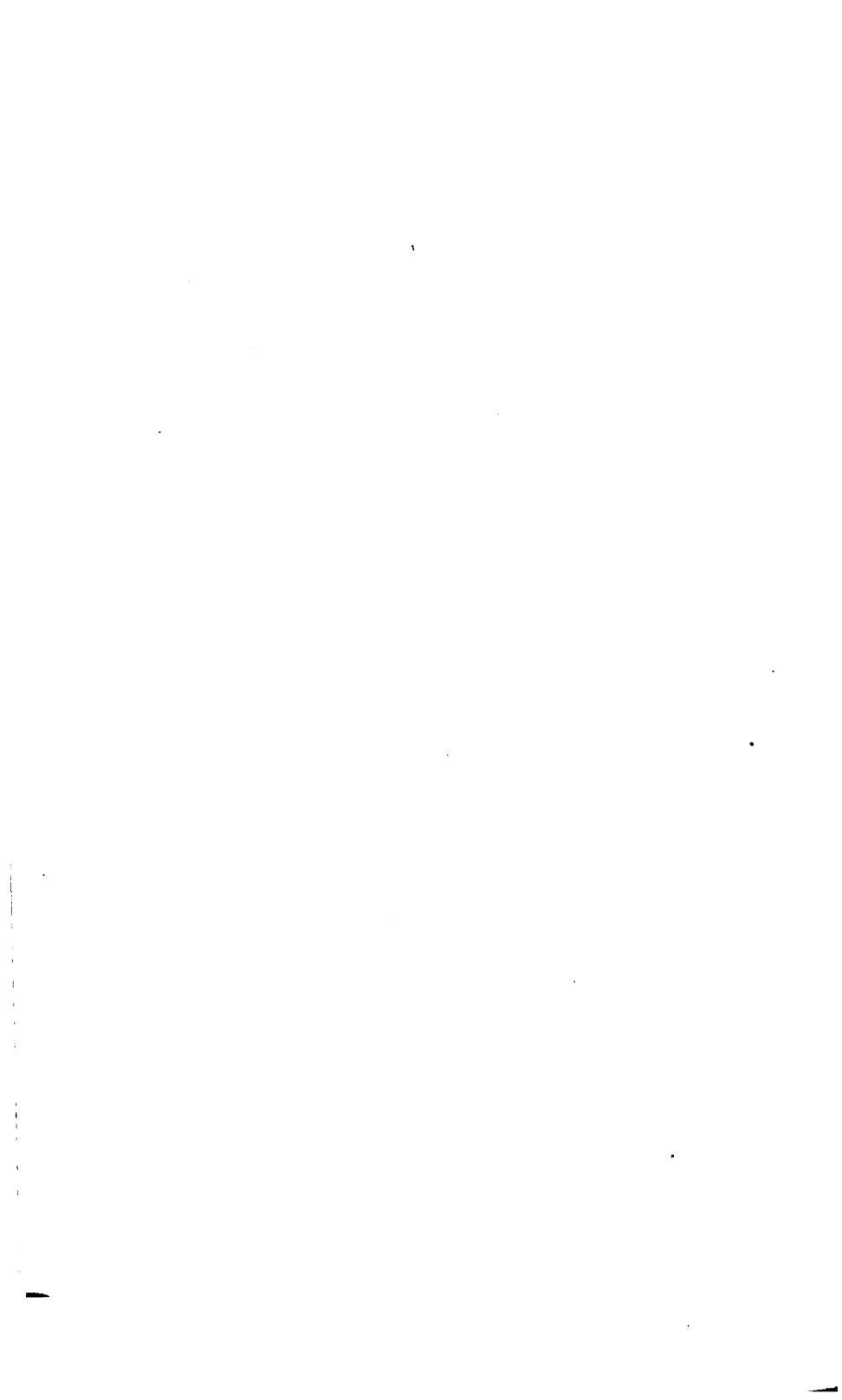


HARVARD UNIVERSITY

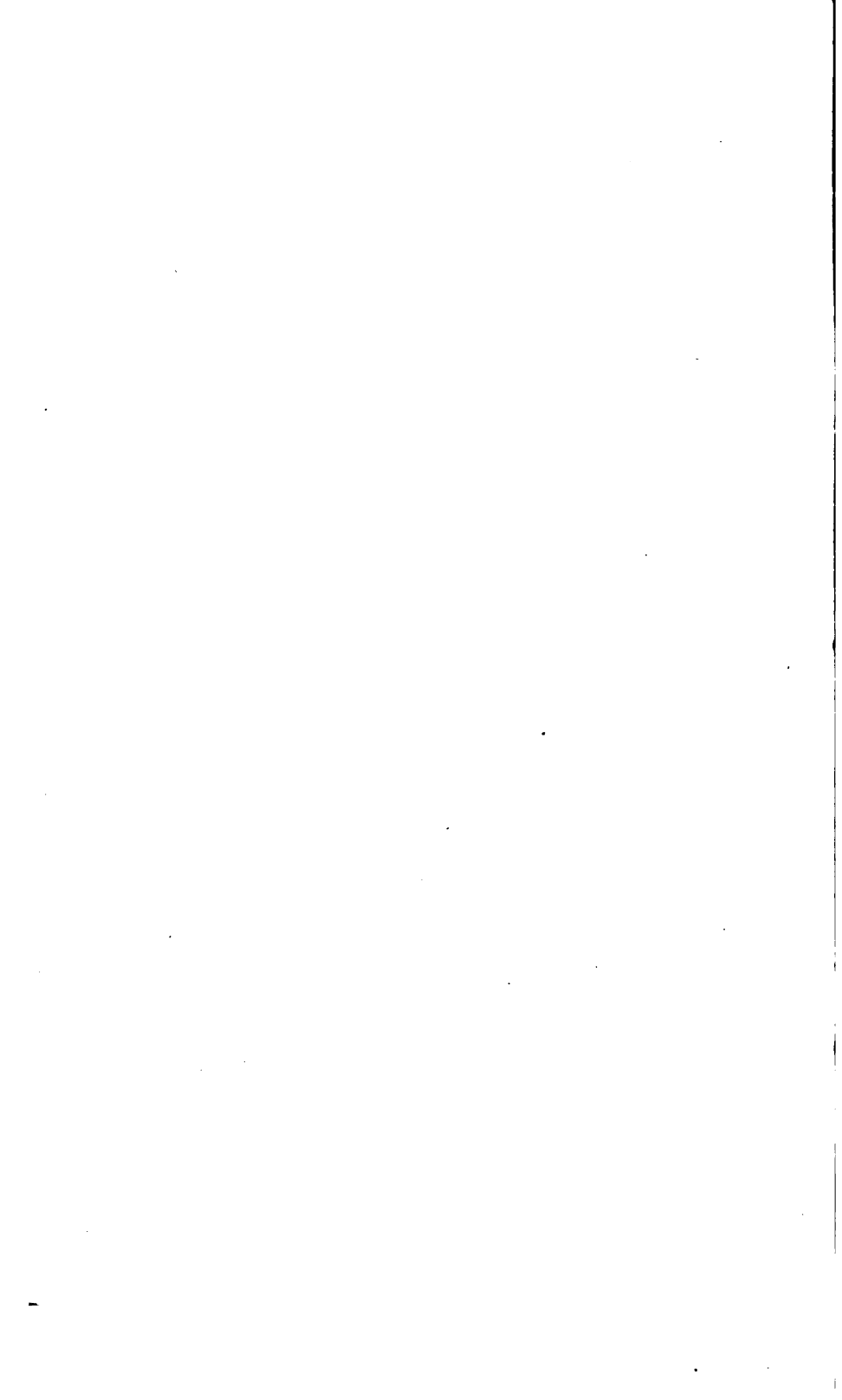
Mineralogical Laboratory,

UNIVERSITY MUSEUM.









BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,

39440 Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DE
MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE),

Fondée le 21 Mars 1878,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

TOME TRENTIÈME.

PARIS,
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR,
SUCCESSEUR DE BAUDRY ET C^{ie},
15, rue des Saints-Pères, 15.
MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7.

—
1907

4.24.16-4

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

Année 1907.

Bureau de la Société

MM. H. MOISSAN, Président.

A. LACROIX, G. FRIEDEL, Vice-Présidents.

• L. BOURGEOIS, Trésorier.

M. BLONDEL, Secrétaire pour la France.

JEAN HERBETTE, Secrétaire pour l'Étranger.

J. DE LAPPARENT, Archiviste.

Membres du Conseil de la Société

MM. GAUBERT,

A. DE LAPPARENT,

L. MICHEL,

MM. PISANI,

A. DE SCHULTEN,

WALLERANT.

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1878.....	DES CLOIZEAUX.
1879.....	MALLARD.
1880.....	DAMOUR (A.).
1881.....	FRIEDEL (Ch.).
1882.....	DAUBRÉE.
1883.....	FOUQUÉ.
1884.....	CORNU.
1885.....	DE LAPPARENT (A.).
1886.....	BERTRAND (Em.).
1887.....	JANNETTAZ (E.).
1888.....	DUFET (H.).
1889.....	DES CLOIZEAUX.
1890.....	CARNOT (Ad.).
1891.....	WYROUBOFF.
1892.....	MALLARD.
1893.....	BOURGEOIS (L.).
1894.....	MICHEL-LÉVY.
1895.....	LACROIX (A.).
1896.....	HAUTEFEUILLE.
1897.....	TERMIER.
1898.....	LE CHATELIER (H.).
1899.....	WALLERANT (Fréd.).
1900.....	HAUTEFEUILLE.
1901.....	BERTRAND (Em.).
1902.....	WYROUBOFF.
1903.....	MICHEL (L.).
1904.....	DUFET (H.).
1905.....	WALLERANT (Fréd.).
1906.....	DE LAPPARENT (A.).



LISTE DES MEMBRES

1907

Membres honoraires décédés.

MILLER (W.-H.).	SZABO (J.).
ADAM.	MARIGNAC (Ch. DE).
KOBELL (Fr. von).	DANA (J.-D.).
SMITH (Lawrence).	DES CLOIZEAUX.
SELLA (Q.).	SCHRAUF (A.).
RATH (G. von).	FRIEDEL (Ch.).
DOMEYKO (I.).	RAMMELSBERG (C.).
LEUCHTENBERG (S. A. I. le grand-duc Nic. de).	NORDENSKIOELD (A.-E.).
KOKSCHAROW (N. DE).	DAMOUR (A.).
SCACCHI (A.).	FOUQUÉ (F.).

Membres honoraires.

- BRÖGGER (W.-C.), professeur à l'Université de Christiania.
- GROTH (Dr Paul), professeur à l'Université, Mineralogische Sammlung, Akademie, Munich (Bavière).
- LANG (V. von), k. k. Hofrath, professeur à l'Université de Vienne.
- MASKELYNE (N. S. Esq^{re}), membre de la Chambre des Communes, Basset Down House, Swindon, Wilts (Angleterre).
- ROSENBUSCH (Dr H.), professeur à l'Université de Heidelberg.
- TOPSOE (Dr H.), professeur à l'École militaire de Copenhague.
- TSCHERMAK (Dr G.), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Vienne.
- WYROUBOFF (Grégoire), professeur au Collège de France, 20, rue Lacépède, Paris, 5^e.
- ZIRKEL (Dr Fr.), professeur à l'Université de Leipzig.

Membres perpétuels.

BERTRAND (Émile), ingénieur, 35, boulevard des Invalides, Paris, 7^e.

INSTITUT impérial des Mines de Saint-Pétersbourg.

MAUROY (DE), ingénieur, à Vassy (Haute-Marne).

SEIDEL Y AYMERICH (José), professeur à la Faculté des Sciences de la Havane (Cuba).

SPECULA VATICANA, à Rome.

SOCIÉTÉ impériale minéralogique de Saint-Pétersbourg.

Membres ordinaires ⁽¹⁾.

m AMARAL (Fr. José de Santa Maria), mostero de S. Bento, à Rio-de-Janeiro.

AMIOT (H.), ingénieur en chef des Mines, attaché à la Direction des Chemins de fer de P.-L.-M., 4, rue Weber, Paris, 16^e.

ARMACHEWSKI (P.), professeur à l'Université de Kiew (Russie).

ARSANDAUX (H.), préparateur au Collège de France, 6, rue Flatters, Paris, 5^e.

ATANASESCO (N.), docteur ès sciences, professeur de Chimie à la Faculté de Médecine, 21, strada Stirbey Voda, Bucharest.

BÄCKSTRÖM (Dr H.), professeur à la Höghskola, 30, Kungsgatan, Stockholm.

BARDET (Dr), rédacteur en chef du *Bulletin de Thérapeutique*, 21, rue du Cherche-Midi, Paris, 6^e.

BARET (Ch.), 23, rue Chateaubriand, Nantes.

m BARROIS (Charles), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences, 41, rue Pascal, Lille, et 9, rue Chomel, Paris, 7^e.

BARTH (J.-A.), éditeur des *Beiblätter zu den Annalen der Physik*, Rossplatz, 17, Leipzig.

(¹) La lettre *m* indique les membres à vie.

BAUER (D^r Max), professeur à l'Université, Marburg (Hesse).

BEL (J.-M.), ancien élève de l'École Polytechnique, ingénieur civil des Mines, 73, boulevard Saint-Michel, Paris, 5^e.

BENIER, ingénieur, Combs-la-Ville (Seine-et-Marne).

BENSAUDE (D^r Alf.), membre de l'Académie royale des Sciences, professeur à l'Institut industriel, 6, rue S. Gaetano, Lapa, Lisbonne.

BERGERON (Jules), professeur de Géologie et de Minéralogie à l'École centrale, 157, boulevard Haussmann, Paris, 8^e.

BERTRAND (Marcel), membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École des Mines, 101, rue de Rennes, Paris, 6^e.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Clermont-Ferrand.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Grenoble.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Louvain (Belgique).

BIBLIOTHÈQUE de la K. Techn. Hochschule de Stuttgart.

BIZARD (R.), 72, rue Desjardins, Angers.

BLONDEL (Maurice), docteur ès sciences, 286, boulevard Raspail, Paris, 14^e.

BOUBÉE (M^{me} E.), officier de l'Instruction publique, 3, boulevard et place Saint-André-des-Arts, Paris, 6^e.

BOUCHARD (D^r), membre de l'Institut, 174, rue de Rivoli, Paris, 1^{er}.

m **BOUCHARDAT (Gust.)**, professeur à l'École de Pharmacie, 108, boulevard Saint-Germain, Paris, 6^e.

BOURGEAT (l'abbé), docteur ès sciences, professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

m **BOURGEOIS (Léon)**, répétiteur à l'École Polytechnique, assistant au Muséum d'Histoire naturelle, 1, boulevard Henri-IV, Paris, 4^e.

m **BOWMAN (Herbert-L.)**, démonstrateur de Minéralogie, University Muséum, Oxford (Angleterre).

- BRALY (A.)**, ingénieur des Mines, 21, rue Poussin, Paris, 16^e.
BRAUNS (D^r R.), professeur de Minéralogie à l'Université, 8, Düppelstrasse, Kiel (Allemagne).
BRONGNIART (Marcel), licencié ès sciences, 5, Villa Mozart, rue Mozart, Paris, 16^e.
BRUN, pharmacien, place Saint-Gervais, Genève (Suisse).
BÜCKING (D^r Hugo), professeur de Minéralogie à l'Université de Strasbourg.
m **BUREAU (D^r Louis)**, professeur à l'École de Médecine, directeur du Musée d'Histoire naturelle, 15, rue Gresset, Nantes.
BUTTGENBACH (H.), directeur du Service des Mines au département des finances de l'Etat indépendant du Congo, 322, avenue Brugmann, Uccle (Bruxelles) (Belgique).
CABINET de Minéralogie de l'Université royale de Pavie.
CARNOT (Ad.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur de l'Ecole des Mines, Paris, 6^e.
CESARO (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Liège, Cheratte (Belgique).
CHABRIÉ (C.), sous-directeur du Laboratoire de Chimie appliquée et chargé de cours à la Faculté des Sciences, 83, rue Denfert-Rochereau, Paris, 14^e.
CHURCH (A.-H.), F. R. S., professeur de Chimie, Shelsley, Kew Gardens, Surrey (Angleterre).
COHEN (D^r E.), professeur à l'Université, 4, Rossmarkt, Greifswald (Allemagne).
COLANI (A.), 19, rue Vauquelin, Paris, 5^e.
COLORIANO (P. Ant.), docteur ès sciences, directeur du lycée Santa-Sva, 31, strada Fântânei, Bucharest (Roumanie).
COPAUUX (H.), docteur ès sciences, 58, boulevard Saint-Marcel, Paris, 15^e.
m **COSTA-SENA (J. da)**, ingénieur des Mines, Ouro-Preto, Minas Geraës (Brésil).
COUYAT (J.), licencié ès sciences, 10, boulevard Saint-Marcel, Paris, 13^e.

- DABREN (A.), ingénieur civil des Mines (Service des Mines), Tananarive (Madagascar).
- DELAGE (A.), professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.
- DERWIS (M^{lle} Véra von), École de Chimie, Genève (Suisse).
- DESHARNOUX (Paul), dessinateur-graveur, 29, rue Linné, Paris, 5^e.
- DOELTER (D^r Corn.), professeur de Minéralogie à l'Université de Gratz (Autriche).
- DONGIER (R.), sous-directeur du Laboratoire d'enseignement de Physique à la Faculté des Sciences, 1, rue Victor-Cousin, Paris, 5^e.
- DUPARC (Louis), professeur de Minéralogie à l'Université de Genève.
- DURANDIÈRE (Arthur de la), 62, rue des Saints-Pères, Paris, 7^e.
- FLAMAND, chargé de cours à l'École des Sciences d'Alger, Alger-Mustapha.
- FRIEDEL (Georges), ingénieur des Mines, professeur à l'École des Mines de Saint-Etienne, 97, cours Fauriel, Saint-Étienne (Loire).
- GAUBERT (Paul), docteur ès sciences, assistant de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle, 1, rue Mirbel, Paris, 5^e.
- GENTIL (Louis), maître de conférences de Pétrographie à la Faculté des Sciences, 65, boulevard Pasteur, Paris, 15^e.
- GLINKA (Serge), privat docent, cabinet de Minéralogie, Université impériale de Saint-Petersbourg.
- GOGUEL (H.), maître de conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 21, rue de Brézets, Bordeaux.
- m* GOLDSCHMIDT (D^r V.), professeur de Minéralogie et de Cristallographie à l'Université, 9, Gassbergstrasse, Heidelberg (Allemagne).
- GONNARD (F.), ingénieur des Arts et Manufactures, 38, quai de Vaise, Lyon.

GORCEIX (Henri), ex-directeur de l'Ecole des Mines d'Ouro-Preto (Brésil), à Mont-sur-Vienne, par Bujaleuf (Haute-Vienne).

m GRAMONT (Arnaud *de*), docteur ès sciences, 179, rue de l'Université, Paris, 7^e.

GRANGER (A.), professeur à l'Ecole d'application de la Manufacture de Sèvres, 88, avenue des Ternes, Paris, 17^e.

GRATTAROLA (G.), directeur du Musée et Laboratoire de Minéralogie de l'Institut royal des Études supérieures, 2, piazza San Marco, à Florence.

GUYOT DE GRANDMAISON (E.), 23, rue Clairat, Bergerac (Dordogne).

HERBETTE (Jean), docteur ès sciences, 17, rue Fortuny, Paris, 17^e.

HINTZE (Dr C.), professeur de Minéralogie à l'Université, 5, Moltkestrasse, Breslau (Allemagne).

HUSSAK (E.), Commission géologique de São Paulo (Brésil).

INSTITUT minéralogique de l'Université de Czernowitz (Autriche).

JANNETTAZ (Paul), ingénieur des Arts et Manufactures, répétiteur à l'Ecole centrale, 68, rue Claude-Bernard, Paris, 5^e.

JECKER (L.), professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie, 42, rue Monge, Paris, 5^e.

JORISSEN, P. O. Box 2927, Johannesburg (Transvaal).

JUNGFLEISCH (E.), membre de l'Académie de Médecine, professeur à l'École de Pharmacie et au Conservatoire des Arts et Métiers, 74, rue du Cherche-Midi, Paris, 6^e.

KAMPMANN (Alfred), Épinal.

KLEIN (Dr Carl), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Berlin, Geh. Bergrath, Joachimsthaler Str., 39-40, Charlottenburg b. Berlin.

KRENNER (Dr J.), professeur de Minéralogie au National Museum, Buda-Pest.

- KUNZ (Georges-F.), chez MM. Tiffany et C^{ie}, Union Square, New-York City.
- LACOUR (Alf.), ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère, Paris, 17^e.
- m* LACROIX (A.), membre de l'Institut, professeur de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle, 8, quai Henri-IV, Paris, 4^e.
- LALLIER (F.), les Sables-d'Olonne (Vendée).
- LAPPARENT (Alb. DE), membre de l'Institut, professeur de Géologie et Minéralogie à l'Institut catholique, 3, rue de Tilsitt, Paris, 8^e.
- LAPPARENT (Jacques DE), 56, rue Madame, Paris, 6^e.
- LASSALLE (Th.), route de Clermont, Montluçon (Allier).
- LE CHATELIER (H.), ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École des Mines et au Collège de France, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6^e.
- LETEUR (F.), préparateur à la Faculté des Sciences, 83, Grande-Rue, Bourg-la-Reine (Seine).
- LEWIS (W.-J.), professeur, New Museums, Cambridge (Angleterre).
- LIEBIŒCH (Dr Th.), professeur de Minéralogie à l'Université, Göttingen (Prusse).
- LINDSTROEM (G.), adjoint au Riks-Museum, Stockholm (Suède).
- m* LIVERSIDGE, professeur à l'Université de Sydney, Nouvelle-Galles du Sud (Australie).
- LOUGUININE, professeur à la Faculté des Sciences de Moscou, Villa Lussy, quai du Midi, Montreux (Suisse).
- LOVISATO (Domenico), professeur à l'Université, 19, viale Regina Margherita, Cagliari (Sardaigne).
- LUEDECKE (Dr Otto), professeur à l'Université, 8, Blumenthalstrasse, Halle s. Saale, Thuringe.
- MATTIROLO (Ettore), ingénieur des Mines, directeur du Laboratoire chimique de l'Office royal géologique des Mines, Rome.

m MICHEL (Léopold), professeur adjoint de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Paris, 54, boulevard Maillot, Neuilly (Seine).

m MICHEL-LÉVY (A.), membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, professeur au Collège de France, 26, rue Spontini, Paris, 16^e.

MIEG (Mathieu), 48, avenue de Modenheim, Mulhouse.

m MIERS (Henry-A.), professeur au Magdalen College, Oxford.

m MIRABAUD (Paul), banquier, 8, rue de Provence, Paris, 9^e.

MOISSAN (H.), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences, 7, rue Vauquelin, Paris, 5^e.

MOSES (Dr Alf. J.), professeur de Minéralogie à l'École des Mines, Columbia University, New-York.

MUSEUM d'Histoire naturelle de Hambourg (Allemagne).

NENTIEN (E.), ingénieur en chef des Mines, Chalon-sur-Saône.

NICOLAU (Dr Th.), professeur au Lycée, 1, Strada Sf. Athanasie, Jassy (Roumanie).

OEBBEKE (Dr K.), professeur de Minéralogie à la Technische Hochschule, Munich (Bavière).

OFFRET (Albert), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Lyon, villa Sans-Souci, 53, chemin des Pins, Lyon.

O'GORMAN (comte Gaëtan), 21, avenue de Barèges, Pau (Basses-Pyrénées).

OSMOND (F.), ingénieur civil, 83, boulevard de Courcelles, Paris, 8^e.

OUROCHEWITS (Sawa), professeur à l'École supérieure des Sciences de Belgrade (Serbie).

PACHECO DO CANTO E CASTRO (Eug. Vaz), professeur au Lycée de Ponta Delgada, île de São-Miguel (Açores).

PAVOT, intendant militaire, 36 bis, rue Ballu, Paris, 9^e.

PISANI (F.), chimiste, 8, rue de Furstenberg, Paris, 6^e.

PURPER (L.), propriétaire, avenue du Rond-Point, Évry-Petit-Bourg (Seine-et-Oise).

m RICHARD (Ad.), préparateur à l'École des Mines, 96, Grande-Rue, Bourg-la-Reine (Seine).

ROMEU (A. DE), ingénieur des Arts et Manufactures, 12, rue Cambacérès, Paris, 8^e.

ROUX (Léon), professeur de Chimie à la Faculté des Sciences de Poitiers.

SANDBERG (C.), P. O. Box 2927, Johannesburg (Transvaal).

m SAUVAGE (Ed.), ingénieur des Mines, 14, rue Eugène-Flachat (place Pereire), Paris, 17^e.

m SAXE-COBOURG-GOTHA (S. A. I. le Prince dom Pedro DE).

SCACCHI (E.), professeur de Minéralogie à l'Université de Naples.

SCHULTEN (D^r Aug. DE), au Laboratoire d'enseignement de Chimie à la Sorbonne, Paris, 5^e.

SEHERR THOSS (le baron M. DE), Hohenzollernstrasse, 16, Berlin.

SELIGMANN (G.), 18, Schlossrondel, Coblenz.

SELWYN, ancien Directeur du Service géologique du Canada, Museum and Office, Sussex street, Ottawa.

STÖBER (D^r H.), chargé de cours à l'Université, 45, boulevard Léopold, Gand.

STRUEVER (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Rome.

STUER (Al.), 4, rue de Castellane, Paris, 8^e.

SUTTON (William J.), géologue, 89, Discovery Street, Victoria (Colombie Britannique).

TERMIER (Pierre), ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris, 15^e.

UNGEMACH (H.), ingénieur-chimiste, rue Marbach, Strasbourg.

USSING (Dr N.-V.), professeur à l'Université de Copenhague.

VATIN, ingénieur civil des Mines, 52, rue Saint-Georges, Paris, 9^e.

WALLERANT (Fred.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Paris, 5^e.

WICHMANN (Dr A.), professeur à l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).

WINCHELL (N.-H.), géologue de l'État du Minnesota, Minneapolis (États-Unis).

WÜLFING (Dr E.-A.), professeur de Minéralogie, Baumbach Allée, 11, Langfuhr, par Dantzig (Allemagne).

ZUJOVIC (J.-M.), professeur de Géologie à l'École supérieure de Belgrade (Serbie).



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN N° 1.

Compte rendu de la Séance du 10 Janvier 1907.

PRÉSIDENCE DE M. A. DE LAPPARENT.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le Trésorier pour la lecture de son Rapport.

Rapport du Trésorier.

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

J'ai l'honneur de vous soumettre les comptes de l'exercice 1906, arrêtés au 31 décembre dernier.

COMPTES DE L'EXERCICE 1906.

Recettes.

En caisse au 1 ^{er} janvier 1906.....	9907, ^{fr} 09
Cotisations arriérées.....	701,85
» de l'année.....	1192,35
» anticipées.....	40
Allocation ministérielle.....	600
Abonnements et vente du <i>Bulletin</i>	1616,55
Rente sur l'État français 3 % perpétuel.....	297
Intérêts des comptes à la Société Générale.....	148,85
Intérêts des sommes déposées à la Caisse nationale d'Épargne, à 2,50 %.....	63,92
TOTAL.....	14567,61

Dépenses.

<i>Bulletin</i> , impression et port.....	1088, ^{fr} 88
» gravure.....	2 3
» rédaction et extraits.....	200
<i>Administration</i> , indemnité au garçon de salle....	200
» frais de bureau.....	98,40
<i>Bibliothèque</i> , abonnements.....	238,50
» reliure.....	58,75
» assurances.....	34,80
Société Générale, droits de garde, timbres, etc...	4,20
Solde en caisse au 1 ^{er} janvier 1907.....	12405,08
TOTAL.....	14567,61

Notre fonds de réserve, évalué au cours du 31 décembre dernier, se compose de :

297^{fr} rente française 3 % perpétuel à 95^{fr},25..... 9429,75
 ce qui, joint à l'encaisse à la même date, constitue
 un actif immédiatement réalisable de..... 21834,83

Je termine en vous proposant le budget suivant pour l'année qui commence; je me suis réglé sur la moyenne des trois dernières années :

PROJET DE BUDGET POUR L'ANNÉE 1907.

Recettes.

Reprise sur l'encaisse précédente.....	753 ^{fr}
Cotisations.....	1800
Allocation ministérielle.....	600
Abonnements et vente du <i>Bulletin</i>	1300
Intérêts du fonds de réserve.....	297
Intérêts divers.....	100
TOTAL.....	4850

Dépenses.

<i>Bulletin</i> , impression et port.....	3500 ^{fr}
» gravure.....	350
» rédaction et extraits.....	250
<i>Administration</i> , indemnité au garçon de salle.....	200
» frais divers.....	200
<i>Bibliothèque</i> , abonnements, reliure, assurances...	350
TOTAL.....	4850

Le Trésorier,
 L. BOURGEOIS.

M. PISANI donne lecture du Rapport suivant :

Les Membres de la Commission de Comptabilité ont examiné les comptes de 1906 et ont constaté leur parfaite régularité. Ils proposent d'adresser tous les remerciements des Membres de la Société à M. le Trésorier.

GENTIL, PISANI, DE RONEU.

Les remerciements sont votés à l'unanimité.

Il est ensuite procédé aux élections pour le renouvellement du Bureau de la Société.

Le dépouillement du scrutin donne les résultats suivants :

Présidence : M. H. Moissan obtient 48 voix ; M. Gonnard, 5 voix.

Il y a 3 bulletins nuls.

En conséquence, M. H. Moissan est proclamé président.

Vice-présidence : M. A. Lacroix obtient 53 voix ; M. G. Friedel, 50 ; M. Wallerant, 1.

MM. A. Lacroix et G. Friedel sont proclamés vice-présidents.

M. Blondel est réélu secrétaire pour la France et M. Jean Herbet, secrétaire pour l'étranger.

M. Jacques de Lapparent est nommé archiviste.

MM. A. de Lapparent, L. Michel et A. de Schulten sont nommés membres du Conseil pour deux ans.

En conséquence, le Bureau de la Société est constitué pour 1907 de la façon suivante :

Président : M. H. Moissan ;

Vice-présidents : MM. A. Lacroix et G. Friedel ;

Trésorier : M. Bourgeois ;

Secrétaires : MM. Blondel et Herbette ;

Archiviste : M. J. de Lapparent ;

Membres du Conseil : MM. Gaubert, A. de Lapparent, L. Michel, Pisani, de Schulten et Wallerant.

M. A. de Lapparent, avant de céder le fauteuil de la présidence à M. H. Moissan, adresse ses remerciements à la Société.

M. H. Moissan remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en l'appelant à la présidence.

M. TERMIER présente, de la part de M. G. Friedel, une Note : « Réponse à M. Mügge au sujet des axes ternaires irrationnels. »

M. F. WALLERANT expose la suite de ses recherches sur les cristaux liquides.

M. A. LACROIX présente, de la part de M. Glasser, une Note sur une espèce minérale nouvelle, la *Népouite*, silicate hydraté de nickel et de magnésie.

M. A. LACROIX met sous les yeux de la Société quelques minéraux et en particulier de la métavoltite. Ce sulfate de fer et de potassium, qui se forme si facilement dans les laboratoires (sel de Maus), n'avait été signalé jusqu'à présent à l'état naturel que dans un gisement persan. M. A. Lacroix l'a rencontré dans deux gisements volcaniques nouveaux parmi les produits des fumerolles de Milo et de Vulcano (voir *Bulletin* de février).

Réponse à M. Mügge au sujet des axes ternaires irrationnels ;

Par M. G. FRIEDEL.

M. O. Mügge a rendu compte, dans le *Neues Jahrbuch* ⁽¹⁾, des idées que j'ai émises dans ces dernières années sur les réseaux cristallins, les macles, etc. Il m'a fait l'honneur aussi de les citer dans son article *Zur Prüfung der Strukturtheorien an der Erfahrung* de l'*Encyclopædie der mathematischen Wissenschaften*. J'aurais beaucoup à dire sur ces exposés, traductions parfois tellement libres de mes théories que j'ai quelque peine à les reconnaître. Pour ne prendre qu'un exemple, j'ai été un peu étonné d'apprendre que, parmi les critères divers proposés pour la détermination des réseaux, le mien consiste en ceci ⁽²⁾ : « Choisir pour chaque espèce cristalline, parmi les réseaux cristallins possibles, et vraisemblables d'après son habitus, ceux pour lesquels, dans les macles de l'espèce, le plus grand nombre possible de rangées de l'un des réseaux tombe en prolongement, aussi exact que possible, des rangées de l'autre ». Ceux qui ont lu l'ouvrage ⁽³⁾ où M. Mügge a cru découvrir cette opinion savent qu'il ne contient rien qui ressemble de près ou de loin à une telle idée, mais que j'y préconise au contraire, en la justifiant à chaque page par des exemples, la détermination des réseaux par la seule loi de Bravais sur les densités réticulaires. Ainsi du reste. Il me paraît inutile de relever en détail de telles erreurs, qui ne peuvent provenir que de la

(1) Band II, 1905 p. 161.

(2) *Encyclopædie*, p. 481.

(3) *Étude sur les groupements cristallins* (*Bull. Soc. Industrie minérale*, 1904).

diversité des langues. Elles justifient, il est vrai, une exécution sommaire, à l'usage des cristallographes allemands, des idées qui me sont ainsi attribuées, mais cela reste sans importance à l'égard de celles que j'ai réellement exposées, qui sont tout autres, et que, par suite, les objections de M. Mügge n'effleurent pas ⁽¹⁾.

Mais il est un point sur lequel il me semble y avoir quelque intérêt à insister. Il ne s'agit plus, en effet, de doctrines imparfaitement traduites, dont l'exposé peut être rectifié par chacun en recourant aux sources, mais d'un simple raisonnement d'ordre mathématique, incontestable à mes yeux, et auquel on doit, je pense, attribuer une certaine importance parce qu'il porte sur les bases mêmes de la cristallographie et tend à modifier l'idée que beaucoup de gens s'en étaient faites.

Voici ce raisonnement :

La structure périodique (réticulaire) attribuée aux milieux cristallins ne peut se justifier par la seule homogénéité de ces milieux. Cela résulte immédiatement de ce que l'homogénéité appartient aussi bien à des corps qualifiés amorphes et auxquels personne n'attribue la structure en question. L'hypothèse du milieu périodique ⁽²⁾ a pour base nécessaire

⁽¹⁾ Je ne puis m'empêcher cependant de signaler encore, à titre d'exemple, que M. Mügge tire argument, contre ma théorie des macles, du fait que j'aurais prétendu traiter le réseau de l'orthose comme pseudo-cubique. Je n'ai, au contraire, cité cette opinion, émise par d'autres, que pour en montrer le peu de fondement. Cela est exposé tout au long et sans ambiguïté possible. (*Groupements cristallins*, p. 434 à 448.)

⁽²⁾ J'emploie à dessein ce mot pour écarter l'opposition que les cristallographes allemands croient voir entre la théorie réticulaire de Bravais ou de Mallard et ce qu'ils appellent si improprement les « théories de la structure » de Schoenflies, etc., qui n'en diffèrent en réalité point, ne sont que des « variations » mathématiques, sans signification physique par elles-mêmes, sur le vieux « thème » de Bravais, ou pour mieux dire d'Haüy, et n'ont rien ajouté à nos connaissances sur les cristaux. Il est

l'existence de propriétés vectorielles discontinues (c'est-à-dire l'existence de directions de plans et de droites jouissant de propriétés dont les directions voisines ne jouissent à aucun degré voisin), et la loi qui relie entre elles les directions de ces plans et droites. Ceci n'est pas contesté par M. Mügge.

Cette dernière loi est donc un fait d'observation primordial, qui ne saurait être déduit de quoi que ce soit, et qui fournit la seule définition précise de l'état cristallin (¹). C'est la loi des troncatures rationnelles simples, qui s'énonce ainsi : Les faces et arêtes d'un cristal, ses plans et axes de macle, ses plans et droites de clivage, ses plans et directions de glissement, en un mot tous les éléments plans et rectilignes qui

sans doute utile qu'il se soit rencontré des mathématiciens assez patients pour énumérer les 230 manières imaginables de disposer des points matériels pour remplir la maille de Bravais. Mais ils n'ont point édifié une nouvelle théorie de la structure. Ils ont admis, sous le nom de « groupe de translations », la périodicité, c'est-à-dire le réseau de Bravais, et nous ont seulement fixé les limites entre lesquelles, *cette périodicité admise*, peuvent se mouvoir les théories des physiciens quand ils ont besoin d'en imaginer pour exprimer des faits. Mais leurs « théories », n'exprimant aucun fait physique autre que ceux qu'exprime la périodicité, ne sont, en tant que théories physiques, que des complications inutiles de l'hypothèse réticulaire, à laquelle elles n'ajoutent absolument rien.

(¹) Nous devons, sur ce point, à certains cristallographes allemands, une nouvelle logomachie, instituée par M. Lehmann au sujet de ses « cristaux liquides ». Il est vrai que les cristallographes français qui ont cru pouvoir baser la notion de *cristal* sur la seule anisotropie sont un peu responsables de cette confusion. Contentons-nous de dire ici qu'il importe peu que le nom de *cristal* soit donné ou non à ces milieux anisotropes, hétérogènes, dépourvus de propriétés vectorielles discontinues, auxquels M. Lehmann tient tant à l'appliquer. Nous ne parlons ici que de ce qu'on a jusqu'ici appelé *cristaux*, c'est-à-dire des milieux ayant des propriétés vectorielles discontinues. Les « autres cristaux », si l'on veut qu'il en existe, sont exclus naturellement des présentes considérations : ce qui d'ailleurs ne diminue en rien l'intérêt des liquides de M. Lehmann. (Il s'agit ici seulement des « flüssige kristalle » de Lehmann, non des « fließende kristalle », qui sont de vrais cristaux tous différents des gouttes anisotropes, auxquelles Lehmann applique la première dénomination.)

manifestent des propriétés vectorielles discontinues, sont parallèles aux plans réticulaires et rangées simples d'un certain réseau de parallélépipèdes. La loi implique d'ailleurs, dans son énoncé, l'anisotropie et l'homogénéité (loi de la constance des angles).

Ce réseau, qui n'est qu'un artifice de langage géométrique, peut-on, sans plus, le supposer existant dans le cristal et le transformer en une théorie physique? Peut-on, sans impliquer autre chose que la loi d'Haüy, imaginer que le milieu cristallin est périodique et que ce réseau en représente la périodicité?

A cette question j'ai répondu négativement. Non seulement la structure périodique ne peut par aucun moyen se déduire de la seule homogénéité des milieux anisotropes, non seulement elle a pour base nécessaire la loi d'Haüy, mais encore elle implique un autre fait d'expérience absolument indépendant de cette loi : c'est la non-existence des axes ternaires irrationnels.

Si les axes ternaires irrationnels n'existent pas, on démontre que le réseau géométrique qui sert à exprimer la loi d'Haüy peut, dans tous les cas, être choisi de manière à présenter au minimum la symétrie physique du milieu cristallisé, c'est-à-dire celle de la moins symétrique de ses propriétés constatées. On peut alors légitimement imaginer, à titre d'hypothèse physique, que ce réseau représente la périodicité de la matière cristalline. Cette période, en effet, doit être astreinte avant tout à n'être pas moins symétrique que la moins symétrique des propriétés physiques du milieu. Elle peut, sans inconvénient, être imaginée plus symétrique.

Par contre, s'il était démontré qu'il existât un seul cristal ayant un axe ternaire de toutes ses propriétés physiques qui fût, en particulier, pour ses propriétés discontinues, un axe ternaire irrationnel, il va sans dire qu'on pourrait toujours

trouver un réseau (et même trois, tournés de 120° autour de l'axe) tel que les faces et arêtes du cristal fussent parallèles à ses plans réticulaires et rangées simples, puisque cela veut dire tout simplement que le cristal répond à la loi d'Haüy ; *mais ce réseau ne pourrait en aucun cas avoir l'axe pour axe ternaire*. Il serait nécessairement moins symétrique que les propriétés physiques du cristal. Il ne serait plus un schéma acceptable de la périodicité supposée de la matière cristalline. L'hypothèse de cette périodicité tomberait nécessairement.

Pour être complet, j'ajoute que ceci n'est vrai qu'à la condition d'attribuer à la période des dimensions *finies*, aussi petites, d'ailleurs, qu'on le voudra. C'est ce qui a toujours été impliqué dans les termes de *réseau*, *groupe de translations*, etc. Les paramètres sont supposés petits, mais finis.

Maintenant, l'existence de tels axes ternaires irrationnels, qui est possible en vertu de la loi d'Haüy, est-elle exclue par les autres propriétés physiques connues des cristaux ? Y a-t-il, dans ces propriétés, quoi que ce soit qui s'oppose à l'existence d'axes ternaires irrationnels des propriétés discontinues qui soient aussi pour toutes les autres propriétés physiques de véritables axes ternaires ? Je dis que non : que dès lors la non-existence d'axes ternaires irrationnels est un fait absolument impossible à prévoir, un fait d'observation indépendant de tous autres, et que ce fait est des plus remarquables. Car si la structure périodique n'exprimait que la loi d'Haüy toute seule, elle serait une théorie indifférente, inutile, tout juste équivalente à l'expression géométrique de la loi ; si au contraire elle condense en elle, avec la loi d'Haüy, une autre loi d'observation complètement indépendante, elle prend aussitôt une tout autre valeur et devient une véritable théorie physique, utile parce qu'elle réunit entre eux des faits logiquement indépendants.

C'est là ce que conteste M. Mügge ⁽¹⁾. Il soutient que les propriétés physiques des cristaux sont incompatibles avec l'existence d'axes ternaires irrationnels dans les propriétés discontinues. Il se refuse à concevoir que de tels axes pourraient, tout aussi bien que les axes ternaires rationnels ordinaires, être des axes ternaires de toutes les propriétés physiques. Après une longue correspondance, j'ai dû renoncer à le convaincre, et c'est pourquoi, d'accord avec lui, j'ai cru devoir porter le débat devant les cristallographes.

Je reproduis l'argumentation de M. Mügge :

« Des systèmes de points, avec structure réticulaire, ayant un axe ternaire irrationnel, peuvent être aussi bien imaginés, ainsi que l'a montré Hecht (*Jahrb.*, t. II, 1895, p. 248). S'ils ne figurent pas comme groupe particulier parmi les groupes de Bravais, cela tient à ce que Bravais définissait les axes de symétrie comme simples axes de rotation. La théorie réticulaire n'exclut donc pas plus *a priori* l'existence de telles structures que ne le fait la loi des troncatures rationnelles ; elles sont bien plutôt rendues impossibles seulement par la notion, évidente d'ailleurs pour les cristaux, mais non pour de simples « systèmes de points », qu'une direction n'est axe de symétrie que si les directions, etc., qu'elle ramène en coïncidence (par rotation autour d'elle) sont aussi *physiquement* identiques, c'est-à-dire, au sens de la théorie des réseaux, pourvues de points également répartis. »

Le premier point est tout à fait erroné, non seulement en ce sens que M. Hecht n'a rien montré de semblable, mais en ce sens qu'il est tout à fait impossible d'imaginer un système de points avec structure réticulaire qui possède un axe ternaire irrationnel. La définition des axes de symétrie tels que les entendait Bravais n'y est pour rien.

(1) *Neues Jahrbuch*, Band II, 1906, Heft I, p. 1.

Je rappelle que l'axe ternaire irrationnel est défini par cette propriété que, pour exprimer conformément à la loi d'Haüy les directions des faces et arêtes du cristal, il faut porter, sur trois arêtes obtenues par rotation de l'une d'elles de 120° et 240° autour de l'axe, trois paramètres a , b , c en rapports irrationnels, donc nécessairement inégaux, et tels que les rapports $a^3 : b^3 : c^3 : abc$ soient rationnels.

Tant qu'on ne fait pas l'hypothèse réticulaire, ces paramètres ne sont pas des longueurs attribuées à des éléments physiques quelconques du cristal : ce sont des nombres, rien de plus. On peut d'ailleurs porter indifféremment, et sans rien changer au faisceau des faces et arêtes du cristal, qui sont complètement symétriques par rapport à l'axe ternaire, l'un quelconque de ces trois paramètres sur l'une quelconque des trois arêtes en question. C'est ce qui fait que, physiquement, ces trois arêtes (et il en est de même pour tout groupe de trois arêtes symétriques) *sont* complètement identiques entre elles, au point de vue des propriétés auxquelles se rapporte la loi d'Haüy, et *peuvent l'être*, par suite, à tous points de vue. Veut-on exprimer cette loi au moyen d'un réseau purement géométrique, on devra nécessairement porter sur les trois arêtes choisies pour arêtes de la maille trois paramètres différents, en rapports irrationnels. Rien ne s'y oppose. On pourra choisir ainsi arbitrairement, pour un même faisceau de faces, avec les mêmes paramètres, et en conservant pour les faces de chaque forme simple les mêmes groupes de caractéristiques, trois réseaux obtenus par rotation de l'un d'eux de 120° et 240° autour de l'axe. Mais un tel réseau, de quelque façon qu'on le choisisse, et *a fortiori* aucun « système de points avec structure réticulaire », ne pourra jamais avoir cet axe pour axe ternaire. La considération d'axes avec translation ou d'axes hélicoïdaux ne changerait rien à cette impossibilité, car ces axes

n'interviennent pas dans la symétrie des réseaux (¹).

Ainsi, en cas d'existence d'un axe ternaire irrationnel, dans le faisceau de faces, arêtes, etc., d'un cristal, aucun réseau ne peut simultanément : 1° avoir ses plans réticulaires et rangées parallèles aux faces et arêtes du faisceau, c'est-à-dire exprimer la loi d'Haüy, et 2° avoir parallèlement à l'axe ternaire irrationnel un axe ternaire irrationnel (impossible dans un réseau), ni même un axe ternaire rationnel ordinaire.

En second lieu, M. Mügge croit que l'axe ternaire irrationnel est rendu impossible dans un cristal parce que trois arêtes symétriques par rapport à cet axe ne pourraient être *physiquement* identiques. Il ajoute : « ... c'est-à-dire, au sens de la théorie des réseaux, pourvues de points également répartis ». Cette dernière explication semble indiquer en quoi consiste la méprise. M. Mügge ne peut évidemment s'abstraire, même un instant, de la conception réticulaire du cristal. Il lui paraît évident que trois arêtes auxquelles on doit attribuer, pour exprimer la loi d'Haüy, trois paramètres différents, sont physiquement différentes. Il ne peut concevoir le paramètre d'une arête que comme une subdivision réelle, physiquement existante, de cette arête.

Il est évident au contraire que, les trois paramètres a , b , c pouvant être portés indifféremment sur n'importe laquelle des trois arêtes I, II, III, ces trois arêtes sont physiquement identiques en ce qui concerne une des propriétés du cristal, c'est-à-dire le faisceau des faces et arêtes, et par suite que rien ne s'oppose à ce qu'elles soient identiques à tout point de vue. L'arête I, par exemple, n'a pas plus le paramètre a

(¹) Cela résulte de ce théorème : *Tout réseau qui a un axe de symétrie avec translation a aussi, parallèlement à la même direction, un axe de symétrie ordinaire du même ordre.*

que les paramètres b ou c . On peut indifféremment, et sans qu'aucun caractère physiquement constatable différencie ces trois solutions, choisir entre les systèmes suivants :

	Arêtes.		
	I.	II.	III.
Paramètres.....	a	b	c
»	c	a	b
»	b	c	a

Il n'y a donc absolument rien qui s'oppose à ce que trois **arêtes ou plans** quelconques résultant l'un de l'autre par rotations de 120° autour de l'axe ternaire irrationnel soient physiquement identiques pour toutes les propriétés. Rien n'empêche cet axe d'être un véritable axe ternaire de toutes les propriétés physiques qu'elles soient. Au point de vue de toutes les propriétés physiques, l'axe ternaire irrationnel des propriétés discontinues *ne diffère en rien d'un axe ternaire ordinaire*. Comme lui, il peut n'être pas axe ternaire de toutes les propriétés, auquel cas il y a mériédrie. Mais comme lui, et exactement au même titre, il peut aussi être axe ternaire pour toutes les propriétés, être un véritable axe ternaire du milieu cristallin. Cela est exactement aussi possible, exactement aussi naturel que pour l'axe ternaire rationnel, et je ne puis voir en quoi M. Mügge fait une différence entre eux.

M. Mügge, par exemple, ne peut concevoir que les trois arêtes symétriques par rapport à un tel axe puissent avoir même coefficient de dilatation, exactement aussi bien que si elles étaient symétriques par rapport à un axe ternaire rationnel. Il s'imagine que, si les rapports $a^3 : b^3 : c^3 : abc$ étaient rationnels pour une température, ils ne le seraient plus pour une température voisine. Il est bien clair, au contraire, que si l'axe est ternaire non seulement pour les directions des faces et arêtes, mais aussi pour les autres

propriétés physiques, le coefficient de dilatation est le même pour les trois arêtes, et les rapports

$$a^3(1 + Dt)^3 : b^3(1 + Dt)^3 : c^3(1 + Dt)^3 : abc(1 + Dt)^3$$

restent toujours rationnels.

En résumé, il me paraît incontestable que :

1° Un axe ternaire irrationnel du faisceau de faces, arêtes, etc. d'un cristal peut **être axe ternaire de toutes les propriétés physiques**. *Il ne diffère en rien, par là, de l'axe ternaire rationnel ordinaire*. Absolument rien, dans les propriétés physiques connues des cristaux, ne peut s'opposer à l'existence d'un tel axe, ni la rendre moins vraisemblable, si peu que ce soit, que celle d'un axe ternaire rationnel (1). La non-existence des axes ternaires irrationnels est donc un fait d'observation indépendant de tout autre, impossible à prévoir logiquement.

2° Si un axe ternaire irrationnel existait dans le faisceau de faces, arêtes, etc. d'un cristal, et était en même temps axe ternaire de toutes les autres propriétés physiques, il serait impossible de trouver un réseau ou un système de points à structure réticulaire dont les plans et droites du faisceau fussent des plans réticulaires et rangées, et qui eût en même temps l'axe pour axe ternaire. Par suite on ne pourrait attribuer au cristal la structure périodique qu'en lui donnant une période moins symétrique que ses propriétés constatées. La structure périodique (avec période finie) serait, pour un tel cristal, un schéma inadmissible de ses propriétés.

(1) M. Mügge semble croire aussi que la rationalité des rapports $a^3 : b^3 : c^3 : abc$ serait un cas tellement particulier qu'il serait invraisemblable. Il en est exactement de même de la rationalité des rapports $a : b : c$, qui définit les axes ternaires ordinaires. Logiquement, et si l'on ne veut pas recourir *a priori* à l'hypothèse réticulaire, aucun de ces deux cas n'est plus *particulier* que l'autre ni moins *probable*.

3° Par suite, en admettant la structure périodique (avec période finie) comme générale dans les cristaux, la cristallographie actuelle réunit dans ce schéma unique deux lois d'observation complètement indépendantes :

A. La loi des troncatures rationnelles, qui suppose d'ailleurs l'anisotropie et l'homogénéité dans les corps auxquels elle s'applique;

B. La non-existence des axes ternaires irrationnels; ou encore, ce qui revient au même, le fait que l'on peut toujours donner deux paramètres égaux à deux arêtes symétriques par rapport à un axe de symétrie. C'est ce fait, non impliqué par la loi d'Haüy, qui permet d'attribuer une réalité physique au paramètre, de l'identifier hypothétiquement avec la période suivant laquelle la matière serait répartie sur l'arête.

Je puis me tromper et ne demande qu'à rectifier mon erreur si M. Mügge ou d'autres veulent bien apporter des arguments probants. Mais ce que l'on peut, je crois, affirmer, c'est qu'une telle question, qui est du domaine du raisonnement pur, ne peut être tranchée par une fin de non recevoir; qu'elle ne peut pas davantage être résolue dans deux sens différents, s'il est vrai que la logique soit la même partout; qu'enfin c'est une question importante, qu'aucun cristallographe soucieux de voir clair dans les principes n'a le droit d'écarter d'un mot. Pour soutenir son argumentation et par suite renverser la mienne, M. Mügge devra évidemment :

1° Donner au moins un exemple d'un système de points, avec structure réticulaire, et ayant un axe ternaire irrationnel, tel qu'en a, selon lui, imaginé M. Hecht; ou même simplement, un système de ce genre ayant, parallèlement à l'axe irrationnel du faisceau de ses plans réticulaires, un axe ternaire rationnel. Cela est, selon moi, impossible.

2° Expliquer pour quelle raison un axe ternaire irrationnel du faisceau de faces d'un cristal ne pourrait pas être axe

ternaire de toutes les propriétés, ou en quoi cela est moins possible, ou moins vraisemblable, que pour un axe ternaire rationnel. Car, selon moi, il n'y a aucune différence entre eux à ce point de vue, si l'on n'introduit pas *a priori* l'hypothèse de la périodicité.

Note sur une espèce minérale nouvelle, la népouite, silicate hydraté de nickel et de magnésie;

Par M. E. GLASSER.

Les silicates hydratés de nickel et de magnésie, qui ont été décrits jusqu'ici (*genthite*, *rörlisite*, *pimélite*, *alipite*, *ref-danskite*, etc.) et principalement ceux qui sont originaires de la Nouvelle-Calédonie (*garniérile*, *nouméite*), se présentent tous en masses d'aspect amorphe; cependant l'examen microscopique révèle quelquefois (spécialement dans les échantillons dénommés *nouméite*) une structure cryptocristalline identique à celle de la calcédoine, c'est-à-dire que la masse est constituée d'éléments cristallins affectant une disposition sphérolitique et montrant un allongement positif, avec axes optiques très rapprochés autour de la bissectrice aiguë positive.

Dans divers lots de minerais de nickel que nous avons recueillis en Nouvelle-Calédonie, nous avons découvert des silicates de composition analogue à la garniérile et à la nouméite, mais nettement cristallisés et doués de propriétés optiques bien différentes : ils se présentent en paillettes grossièrement hexagonales souvent empilées de manière à constituer des vermiculations analogues à celles des chlorites, ces paillettes révèlent un minéral négatif.

Les échantillons offrant ces caractères que nous avons observés se montraient tous, sauf un, sous la forme de pous-

sières cristallines très fines; nous avons cependant pu recueillir une fois des spécimens de vermiculations d'une certaine taille.

Nous avons toujours rencontré les échantillons du premier type parmi les débris complexes qui occupaient l'espace laissé libre entre des blocs de serpentine nickelifère plus ou moins désagrégés, et qui constituent souvent, comme on le sait, les meilleurs minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie. C'étaient partout des poudres très fines, d'un vert cendré, tantôt vif et tantôt plus pâle; quelquefois ces poudres se montraient isolées dans des sortes de poches et étaient bien homogènes, tandis que d'autres fois elles se trouvaient mélangées de débris divers, garniérite, produits ferrugineux, silicates magnésiens, serpentine, etc. Dans ce dernier cas, la finesse extrême de la poudre cristalline nous a toujours permis de bien l'isoler des matières étrangères grâce à un simple tamisage au tamis de 120, qui ne laissait passer qu'une poussière impalpable apparaissant au microscope comme bien homogène. Ces produits tamisés, mis en présence de liqueurs lourdes de densités progressivement décroissantes (mélange d'iodure de méthylène et de benzine), ne nous ont révélé que dans un seul cas la présence simultanée d'éléments de densités différentes : les portions ainsi séparées du lot principal, et qui ne constituaient d'ailleurs, en quatre lots différents, qu'un poids très faible par rapport au lot principal, paraissaient identiques à celui-ci par toutes leurs autres propriétés physiques.

Nos analyses et observations ont porté sur quatre échantillons de poudres cristallines, tamisées comme il vient d'être dit, que nous désignerons dans la suite sous les n^{os} 1, 2, 3 et 4.

L'échantillon n^o 1 provenait des carrières Pierrette de la mine Reis II, à Népoui.

L'échantillon n^o 2 provenait de la mine Union, à Canala ;

c'est celui que nous avons pu séparer en plusieurs lots à l'aide des liqueurs lourdes.

L'échantillon n° 3 provenait de la mine Young-Australia située dans la vallée de la rivière Comboui.

L'échantillon n° 4 provenait de la mine Paragraphe située dans la vallée de la rivière de Kna.

Nous avons en outre été conduit, par les résultats de l'analyse chimique et des observations microscopiques, à rapprocher de ces quatre échantillons un cinquième, qui se montre sous un aspect tout différent au premier abord et que nous avons recueilli à la mine Méa, près de Kouaoua. Il se présentait parmi des concrétions nickelifères vertes tapissant de petites cheminées ouvertes au milieu de blocs de serpentine minéralisée; il constituait, au milieu de ces concrétions au toucher parfaitement poli, des vermiculations ou prismes tordus au toucher rugueux; d'une épaisseur voisine de 1^{mm}, à section approximativement hexagonale, à faces striées peu régulières et nullement planes ni brillantes.

Nous désignerons cet échantillon sous le n° 5.

L'analyse de ces divers échantillons, que nous avons faite au laboratoire de l'École des Mines de Saint-Etienne, nous a donné les résultats suivants :

	1.	2.		3.	4.	5.
		Ensemble du lot.	Partie la plus lourde.			
H ₂ O	9,64	10,20	10,61	10,05	11,98	12,31
Si O ₂	32,84	34,52	33,03	35,05	40,07	32,36
NiO (1) ...	49,05	43,75	46,11	39,99	18,21	50,70
MgO	3,64	7,23	6,47	11,80	29,84	3,00
FeO	1,90	2,05	2,20	1,22	0,25	0,62
CaO	0,50	traces	traces	0,58	0,53	traces
Al ₂ O ₃	0,97	1,24	1,39	1,13	0,72	0,69
Totaux....	98,54	98,96	99,81	99,82	101,60	99,68

(1) Nous n'avons pas cherché à séparer du nickel le cobalt, s'il s'en

Dans tous les échantillons l'eau a été dosée après dessiccation prolongée à 110°; cette dessiccation, portant sur les minerais préalablement conservés à la température ordinaire dans un endroit sec, ne leur avait fait perdre que de 2 à 4 pour 100 de leur poids suivant les cas.

M. Pisani, que nous avons prié de vérifier nos analyses, en lui confiant une partie des petites quantités qui nous restaient de quelques-uns de ces échantillons, a trouvé les résultats suivants :

	1.	4.	5.
H ² O	10,48	»	10,20
Si O ²	32,30	41,1	32,50
Ni O.....	49,75	18,1	50,20
Mg O.....	3,75	30,0	3,47
Fe O.....	1,65	»	0,83
Al ² O ³	0,89	»	0,82
Totaux	98,82		98,02

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

Les propriétés physiques de ces minéraux sont les suivantes :

Les quatre premiers se présentent tous en fragments très petits, le plus souvent de forme irrégulière, mais parfois en tables grossièrement hexagonales, de quelques centièmes de millimètre de diamètre et d'une épaisseur plus faible encore quoique du même ordre de grandeur. Souvent on observe des vermiculations à section hexagonale d'une longueur atteignant un ou deux dixièmes de millimètre; ces vermiculations sont striées transversalement sur les faces du prisme à six pans plus ou moins tordu qu'elles constituent, ce qui paraît bien indiquer un empilement de tables comme dans les chlorites.

trouve des traces, ainsi que cela est constant dans tous les minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie.

Ces tables, lorsqu'elles sont à plat, montrent un clivage net parallèlement au plan des axes optiques et un plan de cassure facile (sinon un troisième clivage) dont la trace est inclinée à 60° sur celle du deuxième clivage.

Les prismes tordus qui constituent l'échantillon n° 5 se clivent suivant leur section droite en fines lamelles à peu près hexagonales, ayant un léger éclat nacré; le diamètre de ces lamelles varie de quelques dixièmes de millimètre à un millimètre environ, et elles peuvent être obtenues avec une épaisseur très faible par un commencement de porphyrisation; elles montrent en même temps le deuxième clivage et le plan de cassure signalés ci dessus.

Les densités des cinq échantillons sont les suivantes; elles ont été mesurées à l'aide des liqueurs lourdes pour les quatre premiers et par la méthode du flacon pour le cinquième :

	Densité.
N° 1	3,24
N° 2 (partie la plus lourde).	3,18
N° 3.....	2,89
N° 4.....	2,47
N° 5.....	3,20

La densité varie donc entre 2,47 (et sans doute moins encore pour des échantillons plus pauvres en nickel s'il s'en trouve) et 3,24; elle croît régulièrement avec la teneur en nickel.

La dureté paraît voisine de 2 pour les échantillons pulvérulents; nous l'avons trouvée égale à $2\frac{1}{2}$ pour le n° 5.

La couleur des échantillons pulvérulents varie du vert cendré vif, pour ceux qui sont très riches en nickel, au vert pâle pour les échantillons magnésiens. Le minéral n° 5 brut est d'un vert opaque vif, presque foncé; c'est-à-dire qu'il a sensiblement la couleur des sels hydratés de nickel que l'on prépare dans les laboratoires; mais, après réduction en pous-

sière fine, sa couleur devient d'un vert cendré, identique à celle de l'échantillon n° 1; les lamelles les plus minces se montrent transparentes sous le microscope et laissent passer une lumière d'un vert vif.

Sous le microscope polarisant tous ces minerais apparaissent légèrement dichroïques dans les teintes vert et vert jaune, vert suivant n_p et vert jaune suivant n_g . Ils sont biaxes, mais avec deux axes très rapprochés autour de la bissectrice aiguë négative, c'est-à-dire que, lorsqu'on peut observer des lamelles de clivage bien à plat (ce qui est surtout le cas avec des fragments de l'échantillon n° 5 qui se clive assez bien par porphyrisation), leur biréfringence est sensiblement nulle, et elles laissent apercevoir en lumière convergente une croix noire se disloquant plus ou moins nettement. Les axes, tous deux très voisins de la perpendiculaire à l'aplatissement des tables hexagonales, se montrent situés (lorsqu'on peut en définir nettement la position) dans un plan perpendiculaire à cet aplatissement (c'est-à-dire parallèle à l'allongement des vermiculations) et parallèle à la trace du deuxième clivage net. Il semble d'ailleurs qu'il y ait, dans les lamelles que l'on peut observer, des groupements complexes d'individus cristallins, de telle sorte que, lorsque l'épaisseur en est un peu importante (quelques centièmes de millimètre), l'apparence est celle d'un minéral uniaxe.

Les vermiculations s'éteignent, entre deux nicols croisés, suivant l'allongement, c'est-à-dire suivant la direction perpendiculaire aux lamelles de clivage.

La biréfringence du minéral est assez forte dans tous les échantillons : nous n'avons d'ailleurs pu la mesurer qu'approximativement d'après les teintes de polarisation observées sous le microscope et en appréciant l'épaisseur des fragments correspondants (en mettant successivement au point sur les deux faces, puis en tenant compte de la réfringence moyenne).

Cette biréfringence est de 0,036 à 0,038 environ pour les nos 1 et 5, dont l'indice de réfraction moyen est voisin de 1,62 à 1,63. L'observation par le procédé de Becke, en noyant le minéral dans des liqueurs lourdes de réfringences différentes, nous a donné pour les deux indices très voisins n_p et n_m une valeur voisine de 1,60 pour l'échantillon n° 5 et de 1,62 pour le n° 1; le même procédé nous a permis de fixer l'indice n_g aux environs de 1,64 pour le n° 5 et de 1,65 pour le n° 1. Les échantillons nos 2, 3 et 4 accusent une réfringence et une biréfringence moindres : les indices de réfraction, qui décroissent en même temps que la teneur en nickel, ne sont plus que de 1,56 environ en moyenne pour le n° 4 et la biréfringence, qui décroît de même, est légèrement inférieure à 0,03 pour ce même échantillon.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

Les analyses ci-dessus indiquent quelle est la composition des différents échantillons sur lesquels ont porté nos observations. Calcinés doucement, ils prennent une couleur tirant sur le gris foncé, plus ou moins marquée suivant la teneur en nickel; à plus haute température, ils deviennent d'un jaune pâle correspondant à la couleur habituelle des sels de nickel anhydres; enfin, calcinés à la plus haute température du moufle, ils redeviennent d'un gris verdâtre qui semble être la couleur de l'oxyde de nickel. Cette calcination ne fait, d'ailleurs, pas perdre ses propriétés optiques au minéral; il reste biréfringent, mais il devient presque opaque.

Tous les échantillons sont difficilement, mais complètement, solubles dans l'acide chlorhydrique; ils s'attaquent très facilement par fusion au carbonate de soude, et c'est ainsi que nous les avons traités pour faire les analyses ci-dessus rapportées (M. Pisani a employé le même procédé d'attaque).

Au chalumeau, ils donnent les caractères suivants : dans le

tube fermé, ils dégagent de l'eau et noircissent ; il en est de même dans le tube ouvert. Chauffés sur le charbon, ils noircissent, puis jaunissent ; après mélange à du carbonate de soude et en présence de la flamme réductrice, ils donnent une poudre métallique d'un blanc vif. Ils fournissent, d'autre part, toutes les réactions des composés du nickel.

FORMULE A ATTRIBUER AU MINÉRAL.

Il ne nous paraît pas douteux que les cinq échantillons ci-dessus décrits appartiennent à une seule et même espèce minérale, où la magnésie et l'oxyde de nickel peuvent s'échanger en toute proportion. Le fer, qui s'y trouve à l'état de protoxyde, ainsi que nous l'avons vérifié, paraît intervenir au même titre que l'oxyde de nickel : néanmoins la présence de quelques petits fragments couleur de rouille dans les échantillons bruts (et surtout dans le n° 5) nous fait craindre que, malgré le soin avec lequel nous les avons triés et tamisés, la teneur en fer ne soit peut-être un peu trop forte ; nous ignorons, d'autre part, à quel titre interviennent l'alumine et les traces de chaux et nous devons nous demander si, en particulier, elles ne seraient pas apportées par des traces de silicates complexes étrangers. Aussi ne pouvons-nous pas prétendre à une précision supérieure à celle qui correspond aux petites différences entre les formules auxquelles conduiraient les différentes analyses ci-dessus indiquées, et devons-nous nous en tenir, à titre d'approximation, à la formule unique $2\text{SiO}_2, 3(\text{Ni}, \text{Mg})\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}$ pour les cinq échantillons ; ce serait donc une antigorite nickelifère, dont la présence au milieu des serpentines nickelifères de la Nouvelle-Calédonie n'aurait rien que de très naturel ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ M. A. Lacroix (*Minéralogie de la France et de ses Colonies*, t. I, p. 442 et suiv.) considère la bowlingite comme une variété ferrière

Le Tableau ci-dessous montre quel est le degré d'approximation de cette formule : il reproduit à cet effet les résultats d'analyses précédemment donnés, mais en les exprimant en nombre d'atomes pour une quantité de minéral contenant uniformément deux atomes de silice.

	1.		2.		3.	4.		5.	
	Analyse de M. Pisani.	Notre Analyse.	Ensemble du lot.	Partie la plus lourde.		Analyse de M. Pisani.	Notre analyse.	Analyse de M. Pisani.	Notre analyse.
H ² O..	2,16	1,95	1,97	2,14	1,91	non dosé	1,99	2,09	2,53
Si O ² ..	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Ni O..	2,46	2,39	2,03	2,23	1,82	0,70	0,73	2,48	2,50
MgO..	0,35	2,90	0,33	2,82	0,63	2,76	0,59	2,93	1,01
FeO..	0,09	0,10	0,10	0,11	0,06	non dosé	0,01	0,03	0,04
Ca O..	»	0,03	traces	traces	0,04	id.	0,03	»	traces
Al ² O ³ ..	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	id.	0,02	0,03	0,02

Ces minéraux constituent une espèce bien distincte de la garniérîte et de la nouméïte, telles qu'elles sont généralement décrites .

Ils s'en écartent, en effet, complètement par leur cristallinité beaucoup plus nette, comportant des formes extérieures d'une certaine régularité et des clivages, et par leurs propriétés optiques, caractérisées en particulier par le signe optique négatif, alors que celui de la nouméïte est positif.

La composition chimique accuse aussi une différence marquée. Ceux de nos échantillons qui sont dépourvus de magnésie ou à peu près (échantillons n^{os} 1 et 5) sont notablement plus riches en oxyde de nickel que ne l'est généralement la garniérîte : si l'on consulte les analyses de ce dernier minéral qui ont été reproduites par Dana au nombre de 15 (1) ou par

d'antigorite dans laquelle l'introduction du fer, aux lieu et place de la magnésie, augmente la réfringence et la biréfringence du minéral, comme le fait ici le nickel.

(1) *The System of Mineralogy*, sixth edition, 1892, p. 677.

M. A. Lacroix ⁽¹⁾ au nombre de 8, on n'en trouve qu'une seule, due à Dann ⁽²⁾, accusant une teneur de plus de 40 pour 100 (teneur de 45, 15 pour 100), alors que nos échantillons nos 1 et 5 contiennent sensiblement 50 pour 100 d'oxyde de nickel; le mémoire qui contient cette dernière analyse ne donne, d'ailleurs, sur les propriétés physiques de l'échantillon en question aucun renseignement qui puisse permettre de dire si c'était de la garniérite ou si ce n'était pas plutôt un échantillon analogue aux nôtres.

A cette différence de composition correspond naturellement une différence de formule. On attribue le plus souvent à la garniérite soit la formule $3\text{SiO}_2, 2(\text{Ni}, \text{Mg})\text{O}, 4\text{H}_2\text{O}$ (qui donnerait une teneur maximum de 37,5 pour 100 en oxyde de nickel), soit la formule $7\text{SiO}_2, 8(\text{Ni}, \text{Mg})\text{O}, 9\text{H}_2\text{O}$ (qui donnerait une teneur maximum de 50, 5 pour 100 en oxyde de nickel) ⁽³⁾, tandis que c'est la formule $2\text{SiO}_2, 3(\text{Ni}, \text{Mg})\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}$ (formule qui suppose que la proportion d'oxyde de nickel puisse atteindre jusqu'à 59 pour 100 au cas où il n'y aurait trace ni de magnésie ni d'aucune autre base) qui nous paraît représenter le mieux la composition des minéraux que nous venons de décrire.

Notre espèce présente, par contre, des propriétés optiques qui ont une analogie frappante avec la comarite (ou connarite) de Breithaupt, que ce savant rapprochait des micas ⁽⁴⁾; mais, si les observations et analyses de Breithaupt ont porté sur des échantillons bien purs, elle s'en sépare complètement en ce qu'elle ne contient pas trace d'acide phosphorique ou

⁽¹⁾ *Minéralogie de la France et de ses Colonies*, t. I, p. 438.

⁽²⁾ *Sitzungsberichte der niederrheinischen Gesellschaft für Natur und Heil-Kund*, Bonn. 1878, p. 8.

⁽³⁾ A. LACROIX, *loc. cit.*

⁽⁴⁾ EMILE BERTRAND, *Bulletin de la Société de Minéralogie*, 1882, p. 75.

d'acide arsénique, en ce qu'elle est beaucoup plus riche en oxyde de nickel (50 pour 100 au lieu de 36 pour 100 pour des échantillons également pauvres en magnésie) et moins riche en silice (32,5 pour 100 au lieu de 43 pour 100), et enfin en ce qu'elle est beaucoup plus dense (densité de 3,20 contre 2,50 pour des échantillons non magnésiens dans les deux cas).

Nous avons, d'ailleurs pu, grâce à l'obligeance de M. A. Lacroix, examiner en détail les différents échantillons de silicates hydratés de nickel et de magnésie que possède la collection du Muséum et qui représentent la série des minéraux dont nous avons rappelé les noms ci-dessus. Aucun d'eux ne nous a paru identique à notre minéral. Cependant, une préparation d'un échantillon de comarite accompagné d'une étiquette manuscrite de Breithaupt, provenant de la collection de Des Cloizeaux, avait sensiblement les propriétés optiques que nous venons d'indiquer dans notre minéral.

D'autre part, parmi les échantillons étiquetés nouméite et provenant de Thio, il s'en trouve un (n° 96-1053 de la collection du Muséum), qui est identique à notre échantillon n° 5. Il se distingue d'ailleurs des échantillons de garniérite et de nouméite de la même collection par sa structure caverneuse et nullement concrétionnée et par son toucher rugueux, alors que la garniérite est soit tout à fait amorphe à structure plus ou moins zonée, soit concrétionnée avec une surface parfaitement douce au toucher et comme glacée.

Les aspérités qui hérissent l'échantillon n° 96-1053 constituent, comme dans notre échantillon n° 5, des prismes grossièrement hexagonaux, plus ou moins vermiculés, avec un clivage peu facile légèrement nacré; enfin sous le microscope les petits fragments présentent, quoique avec un aspect un peu moins homogène, correspondant sans doute à moins de pureté, les propriétés optiques ci-dessus décrites.

En résumé, les observations que nous venons de rapporter montrent que les silicates magnésiens nickelifères qu'elles concernent, recueillis par nous en Nouvelle-Calédonie, constituent une espèce minérale nouvelle. Cette espèce est caractérisée : par une cristallinité bien nette quoique avec des formes extérieures peu régulières et des dimensions généralement microscopiques, — par des propriétés optiques qui sont sensiblement celles des chlorites et qui diffèrent complètement de celles de la nouméite et de la garniérite, — et par une teneur en nickel très élevée pour les échantillons peu magnésiens (50 pour 100 d'oxyde, soit 39 pour 100 de métal).

Cette espèce répond à la formule $2\text{SiO}_2, 3(\text{Ni}, \text{Mg})\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}$.

Nous proposons de lui donner le nom de *népouite*, du nom de la localité de Népoui où nous l'avons observée la première fois.

Le Secrétaire gérant :
MAURICE BLONDEL.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN N° 2.

Compte rendu de la Séance du 14 Février 1907.

PRÉSIDENCE DE M. A. LACROIX.

M. G. FRIEDEL adresse à la Société l'expression de sa vive reconnaissance pour l'honneur qu'elle lui fait en l'appelant à la vice-présidence.

M. F. WALLERANT fait une communication sur les « Enroulements hélicoïdaux dans les corps cristallisés ».

Ces recherches font l'objet d'un Mémoire inséré dans le *Bulletin*.

M. TERMIER présente, de la part de M. G. FRIEDEL, deux Notes : « Observations relatives aux cristaux fluides » et « Sur un nouveau gisement de lassallite ».

M. F. GONNARD adresse une Note : « Addition à l'étude cristallographique de la bournonite des mines de Pontgi-baud (Puy-de-Dôme) ».

M. COPAUX a étudié la structure de la forme cubique du

chlorate de soude, douée du pouvoir rotatoire, et repris dans ce but l'examen des formes biréfringentes du même sel.

On a, jusqu'à présent, signalé trois de ces formes biréfringentes, très instables et d'une observation difficile : l'une orthorhombique, la seconde rhomboédrique et la troisième monoclinique. M. Copaux établit que la seconde forme est identique à la troisième, qu'il existe bien trois formes biréfringentes du chlorate de soude, mais que leurs caractères sont les suivants :

La première est orthorhombique, isomorphe du nitre ; la seconde est monoclinique, isomorphe du chlorate de potasse ; la troisième est orthorhombique et quasi-cubique. Les deux premières s'observent assez facilement dans l'évaporation d'une goutte de solution alcoolique de chlorate de soude ; elles sont fortement biréfringentes et plus solubles que la forme cubique. La troisième s'obtient par cristallisation du chlorate en présence de sulfate de soude ; elle est faiblement biréfringente.

Par ses caractères optiques et sa solubilité, elle est seule capable d'entrer dans la structure de l'espèce cubique. De plus, elle se présente dans certaines conditions en cristaux groupés de telle manière qu'ils donnent une représentation visible de la structure intime et invisible à laquelle le chlorate de soude cubique doit sa dissymétrie.

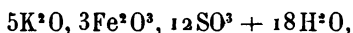
Sur deux gisements nouveaux de métavoltite ;

Par M. A. LACROIX.

En 1883, M. J. Blaas a décrit ⁽¹⁾, sous le nom de *métavoltite*, un sulfate de fer et de potassium provenant du trachyte

(¹) *Ber. Akad. Wiss.*, t. LXXXVIII, 1883, p. 155.

pyriteux de Madeni Zakh en Perse. Ce sulfate, qui résulte de l'altération de la voltaïte, a la composition du sel de Maus, telle que l'a fixée Marignac, c'est-à-dire :



avec un peu de potassium remplacé par du sodium et du fer. Jusqu'à présent, ce minéral n'avait été rencontré dans aucun autre gisement naturel (¹) ; la présente Note a pour but d'en signaler deux nouveaux, que j'ai découverts, l'un à Milo, en 1896, l'autre à Vulcano, en 1905 ; tous deux se trouvent par suite dans des régions volcaniques.

MILO.

La côte méridionale de Milo présente, dans la région de Palæochori, un affleurement de schistes très cristallins d'âge indéterminé, recouvert par des tufs dacitiques. A l'ouest de Phyrlingos, où le soufre est exploité au milieu de tufs, transformés par silicification en meulière, ou en une argile voisine de la cimolite, j'ai observé, à Pyroméni, une fumerolle sulfhydrique se faisant jour au milieu de schistes fort altérés. Les bords de la fumerolle sont garnis d'enduits de soufre, d'alunogène et du minéral qui fait l'objet de cette Note.

Celui-ci constituait des croûtes d'un jaune vif, dépourvues de consistance ; j'en ai rempli une boîte de carton. A mon retour à Paris, quelques mois plus tard, la substance s'était moulée sur la boîte, puis s'était desséchée. Elle se présente actuellement sous la forme d'une masse très cristalline, d'un beau jaune d'or en paillettes hexagonales, uniaxes et

(¹) M. F. Zambonini vient de montrer (*R. Accad. Scienc. Napoli*, 1906) qu'on obtient ce sel en faisant recristalliser la solution de certaines croûtes des fumerolles de la récente éruption du Vésuve, dans lesquelles il ne préexiste pas. M. Bourgeois m'a signalé que le même sel se forme facilement dans les laboratoires, quand on veut préparer l'alun de fer et de potassium.

optiquement *négatives*. Examinées sur leur tranche, celles-ci présentent un pléochroïsme net (n_g = jaune d'or, n_p = jaune pâle).

Le minéral est difficilement soluble dans l'eau chaude ; il ne contient que de l'acide sulfurique, du fer (Fe^2O^3) et du potassium ; son identité avec la métavoltite de Perse a pu être facilement démontrée par l'examen comparatif d'un échantillon de celle-ci, que je dois à l'obligeance de M. Blaas. A Milo, la métavoltite s'est produite directement et ne résulte pas de l'altération d'un autre sulfate.

Cette région de Palæochori est intéressante au point de vue de l'étude de l'action des fumerolles, éteintes celles-là, sur les schistes. A l'ouest de Pyroméni, dans la direction de Kalamos, ces derniers sont profondément altérés ; ils ne renferment plus guère que du quartz. Ils sont traversés par des filonnets de gypse ou alternent avec des lits du même minéral, dont l'origine secondaire n'est pas douteuse.

Cà et là, j'ai rencontré des rognons d'une substance blanche ou d'un blanc jaunâtre, qui paraissent occuper la place de ces amandes d'albite, si fréquentes dans les schistes intacts de la région. Ce minéral très compact, assez dense, est un sulfate basique d'alumine, qui paraît analogue à la *paraluminite*.

Les tufs ponceux qui surmontent ces schistes sont eux-mêmes très altérés ; ils sont par place cimentés par de la *hyalite* ; ils renferment des blocs de schistes décomposés et des nodules du sulfate dont il vient d'être question ⁽¹⁾.

J'ajouterai enfin que les mêmes tufs renferment d'autres nodules jaunes compacts, dont la cassure est parfois cris-

(1) Ces schistes contiennent localement des intercalations d'amphibolites à *glaucothane*, aussi belles que celles de Syra. Je ne les ai pas vues en place, mais j'en ai recueilli des blocs errants dans différentes parties de l'île.

talline et possède un éclat soyeux et une couleur jaïne d'or foncé. Ils sont entièrement constitués par un minéral en paillettes hexagonales, uniaxes, négatives, qui n'est autre qu'un sulfate basique de fer, la *carphosidérite* : peut-être provient-il de la décomposition de la métavoltite, comme l'apatélite des environs de Paris, de celle de la copiapite, mais je ne puis le démontrer.

En terminant, je signalerai l'abondance de l'*alunite*, comme élément microscopique d'un grand nombre de schistes cristallins et de tufs, non seulement de la côte de Palæochori, mais encore de la région de Phyringos, où l'on exploite le soufre. On peut facilement la déceler par l'examen microscopique; ses rhomboédres uniaxes et optiquement positifs imprègnent les roches, ou sont concentrés en nids distincts. Les roches calcinées, puis reprises par l'eau, fournissent une abondante cristallisation d'alun.

Ce minéral avait été jadis signalé à Milo par d'anciens auteurs et, en particulier, par Sauvage ⁽¹⁾, dans sa monographie de l'île; M. Ehrenberg ⁽²⁾ a, depuis lors, contredit cette observation. On voit que cette critique n'est pas fondée.

VULCANO.

L'attention des minéralogistes qui ont visité Vulcano a été surtout attirée sur les produits des fumerolles actives du cratère, qui ont fourni en abondance du *soufre*, du *soufre sélénié*, du *réalgar*, de l'*alunogène*, de la *katinite* (renfermant un peu de thallium, de rubidium, de cæsium), du *salmiac*, de la *sassolite*, de la *hiératite*, du *gypse*, etc. Depuis l'éruption de 1888-1889, les anciennes fumerolles exploitées pour l'acide borique ont disparu et les fumerolles actuelles, situées sur le flanc nord

(1) *Ann. des Mines*, t. X, 1846, p. 76.

(2) *Die Inselgruppe von Milos*, Leipzig, 1889, p. 118.

du cône, sont moins intéressantes que par le passé, puisque le minéral le plus caractéristique des anciennes fumerolles, l'acide borique (sassolite), n'y existe plus, au moins d'une façon apparente.

Au pied nord du cône, se trouvent, près de Porto di Levante, de petites éminences, désignées sous le nom de *Faraglioni*. Ce sont des lambeaux d'un vieux cône de tufs trachytiques. Elles sont creusées d'anciennes habitations troglodytiques, qu'occupaient encore, il y a quelques années, les ouvriers d'une fabrique abandonnée depuis l'éruption et dans laquelle étaient traités les produits des différentes fumerolles de l'île.

Ces *Faraglioni* renferment deux grottes, tapissées de produits d'altération, qui étaient exploitées autrefois pour l'extraction de l'alun. Dans le voisinage, il existe encore d'abondants dégagements d'hydrogène sulfuré et d'acide carbonique; les eaux qui suintent sur les parois de ces grottes sont riches en sels résultant de l'attaque du tuf par l'acide sulfurique, produit lui-même par l'oxydation de l'hydrogène sulfuré. Bien que ces grottes soient signalées par tous les auteurs qui ont parlé de Vulcano ⁽¹⁾, je ne crois pas que leurs produits aient été décrits en détail. Cependant, M. Judd leur a consacré ⁽²⁾ quelques lignes dans son *Mémoire : Contributions to the study of Volcanoes*; il se contente d'y parler des belles stalactites de sulfate d'alumine et de divers composés de chaux, de fer et parfois de cuivre, qu'il ne spécifie pas; mais, par contre, il signale la présence de jolis cristaux de *voltaïte* ⁽³⁾.

⁽¹⁾ La bibliographie des Mémoires concernant Vulcano a été donnée par M. Bergeat : *Die Æolian Inseln (Abhandl. k. bayer. Akad. Wissensch. München, t. XX, p. 142)*.

⁽²⁾ *Geolog. Magaz.*, t. II, 1875, p. 46.

⁽³⁾ Dans le compte rendu d'une excursion faite en 1889 par la Geologist's Association of London, M. Johnston Lavis cite dans ce gisement

Lorsque j'ai visité ce gisement, en septembre 1905, accompagné par un ingénieur des mines italien, M. Bibolini, j'ai vu surtout dans la première de ces grottes de l'alunogène, mélangé à de la kalinite. Quant à la seconde, elle constitue un véritable régal des yeux pour un minéralogiste; ses parois sont garnies de croûtes épaisses et de stalactites, formées par de longues fibres soyeuses, blanches, d'alunogène atteignant plusieurs centimètres de longueur, tantôt seules, tantôt mélangées à des concrétions d'un violet pâle de coquimbite, avec çà et là de petits cristaux bleu pâle de sulfate de cuivre et des nids jaunes de métavoltite.

La métavoltite se présente sous deux formes : en jolies lamelles hexagonales atteignant 2^{mm} de diamètre, groupées en rosettes qui tapissent les cavités de la coquimbite ou de l'halotrichite dans des stalactites contenant du sulfate de cuivre. Leur couleur est le jaune bronzé, avec un éclat nacré, très vif; la seconde forme consiste en agrégats de paillettes très petites, de couleur jaune clair et d'aspect terne; cette variété se rencontre au niveau du sol. Je ne serais pas étonné qu'elle résultât de la décomposition de la voltaïte, signalée par Judd, mais je n'ai pas observé moi-même ce minéral; ne connaissant pas à ce moment l'observation du savant anglais, je n'ai pas cherché au delà de la surface du sol et il est possible qu'ainsi la présence de ce minéral dans les points à l'abri de l'air extérieur m'ait échappé.

Il est vraisemblable que la métavoltite, qui, par son abondance, n'a pas pu échapper aux personnes qui ont visité avant moi ce gisement, a dû être prise par elles pour de la copiapite, dont elle possède la couleur. La copiapite étant monoclinique, il suffit d'examiner au microscope un échantillon de la

(*The South Italian Volcanoes*, 1891, p. 393), la voltaïte, accompagnée de coquimbite, d'halotrichite, « and other rare alums ».

substance en question pour établir le diagnostic différentiel de ces deux minéraux, diagnostic qu'il est facile de confirmer par la recherche microchimique du potassium.

**Note sur la Minéralogie du pays Mahafaly
(Madagascar);**

Par M. A. LACROIX.

Le pays Mahafaly, situé à l'extrémité sud-ouest de Madagascar, au sud de Tuléar, est resté l'un des moins connus de la grande île, au point de vue de la constitution de son sol.

La collection minéralogique du Muséum, qui possédait quelques échantillons, antérieurement recueillis par M. G. Grandidier et par M. Geay, vient de s'enrichir d'une série d'autres spécimens intéressants, collectés par le capitaine Colcanap, qui m'a fourni en outre des renseignements précis sur leur gisement.

D'après cet officier, la large zone sédimentaire (éocène à lias ou trias, avec prédominance de calcaires crétacés), qui est parallèle à la côte, s'appuie à l'Est sur les terrains anciens, qui m'intéressent seuls ici. Ceux-ci sont essentiellement constitués par une série gneissique, de direction moyenne Nord-Nord-Est, avec redressement presque vertical des couches, qui plongent vers l'Ouest. Elle comprend des *gneiss*, des *quartzites*, des *cipolins* et des *amphibolites*. On distingue au milieu d'elles des roches éruptives, granitiques et quelques roches basiques; les unes (*troctolites*) forment des bosses intrusives, les autres sont de nature basaltique, mais d'âge indéterminé.

Gneiss. — Le type le plus fréquent parmi les gneiss de

cette région est une roche à structure granulitique, pauvre en mica ou ne contenant pas ce minéral, qui est remplacé d'une façon presque constante par du graphite ; celui-ci peut devenir localement assez abondant pour former de gros nodules assez purs. Le plus souvent, il constitue des lamelles hexagonales, aussi bien dans les gneiss granulitiques, dans les leptynites et dans les quartzites que dans les cipolins.

Je ne m'arrêterai que sur quelques roches particulièrement intéressantes. Les leptynites sont remarquables par la beauté de leur grenat *almandin* d'un rose pâle, atteignant plusieurs centimètres de diamètre ; tel est le cas de la roche se trouvant à peu de distance d'Ampanihy, sur la route d'Itrobéka ; sa structure est franchement granulitique, l'orthose non maclée est accompagnée d'un peu d'oligoclase acide. La roche contient une proportion notable de rutile et de graphite ; enfin le grenat est riche en inclusions de sillimanite.

L'attention de M. Colcanap a été appelée sur une série de gisements de roches, à aspect filonien, orientées comme les gneiss, formant parfois sur quelques centaines de mètres une muraille à parois verticales (Betaïmbala, à 3 heures d'Ampanihy, sur le chemin de Békily). Ces roches laissent voir à l'œil nus grains de quartz, disséminés dans une pâte compacte et dure, mais fragile, ou terreuse ; leur couleur est le blanc ou le gris, le jaune ou le rouge. Elles simulent au premier abord certaines rhyolites. Toute autre cependant est leur nature ; ce ne sont que des gneiss granulitiques très feldspathiques, non micacés, dont les feldspaths sont entièrement transformés en argile colloïde quelquefois silicifiée et au milieu de laquelle le quartz, le rutile, parfois le grenat et le graphite, apparaissent non remaniés, avec les contours automorphes ou découpés qu'ils présentent dans la roche intacte. Dans un assez grand nombre d'échantillons, il existe de la kaolinite, soit en nids distincts, soit régulièrement distribuée : elle

forme le plus généralement des empilements de lamelles, contournées à la façon de l'helminthe, et offrant, par la grandeur de leurs individus, une grande analogie avec la *leverrierite* des environs de Saint-Étienne.

Je ne connais guère d'exemples comparables de kaolinisation d'une roche de ce genre.

Cette série gneissique présente de nombreux accidents basiques silicatés. A côté d'*amphibolites* banales, formées surtout de hornblende d'un vert presque noir (le Vohipotsy et le Vohibava), se trouvent, notamment aux environs d'Ampanihy, des amphibolites à très gros éléments, dans lesquelles abondent des grenats *almandins*, d'un rouge très foncé, dépassant 5^{cm} de diamètre ; pas plus que ceux des leptynites, ils n'ont de formes géométriques distinctes et ne peuvent être détachés de leur gangue.

La fréquence du grenat dans les termes basiques, aussi bien que dans les acides de cette formation gneissique, explique l'extrême dissémination de ce minéral dans les sables des ruisseaux de la région et fait comprendre pourquoi ce grenat se trouve dans toutes les collections rapportées du pays Mahafaly par les voyageurs.

Cipolins. — D'après les documents et les échantillons que m'a communiqués le capitaine Colcanap, les cipolins abondent dans le pays Mahafaly ; ils forment des amas lenticulaires, allongés dans la direction Nord-Nord-Est, comme les gneiss dans lesquels ils sont intercalés. A l'ouest de Soamanonga (nord d'Ampanihy), ils apparaissent même sous les grès grossiers par lesquels débudent les formations sédimentaires.

Les échantillons que j'ai étudiés et qui, d'après M. Colcanap, représentent le type moyen, ont été recueillis sur la route reliant Ejeda, Ampanihy et Ampotaka ; ils sont essentiellement constitués par de la calcite spathique, dont les rhom-

boédres de clivage atteignent 1^{cm}. Ils renferment en très grande quantité des minéraux métamorphiques, parmi lesquels dominent les minéraux du groupe *humite-chondrodite*, tantôt intacts et jaune foncé, tantôt transformés en *antigorite* à structure maillée et alors d'un jaune verdâtre pâle.

Certains échantillons, dans lesquels les grains de chondrodite ont de 0^{cm},5 à 1^{cm} de diamètre, renferment de nombreux octaèdres noirs de *spinelle pléonaste*, alors que, dans d'autres éléments plus petits, le spinelle est d'un rose très pâle et accompagné par de la phlogopite d'un blond clair et du graphite.

Par la beauté de leurs minéraux, ces cipolins méritent d'être placés sur le même rang que ceux de Pargas, de l'Ariège et de l'État de New-York.

Ils renferment des nodules entièrement silicatés, à comparer aux gneiss pyroxéniques à structure granulitique, dont, en 1889, j'ai publié une monographie dans ce *Bulletin*. Je signalerai en particulier l'un d'eux, constitué par de très grands cristaux de *diopside*, vert pâle, allongés suivant l'axe vertical, et enveloppés dans un mélange granulitique d'*anorthite* (en voie de transformation micacée), de *diopside*, de *scapolite* et enfin de *sphène*.

Troctolites. — A l'est de la route d'Ampanihy à Ampotaka, se trouve, au milieu de la plaine gneissique, le petit monticule arrondi de l'Anabohitsy. Il est constitué par une roche éruptive gabbroïde, dans laquelle, à l'œil nu, on ne distingue guère que de la hornblende noire, un peu d'olivine et un plagioclase d'un gris presque noir.

L'examen microscopique montre que la roche, d'une fraîcheur irréprochable, est plus complexe; elle est formée par de l'*olivine* très abondante, en partie enveloppée pœcilitiquement par de grandes plages de *hornblende* brune et par une

moindre quantité de *bytownite*; la cristallisation de ces divers minéraux a été à peu près simultanée; le feldspath, à peine allongé ou aplati, englobe les éléments ferrugineux ou est moulé localement par l'un ou l'autre d'entre eux. Il existe en outre un peu d'*augite*, pléochroïque dans les teintes vertes et roses, qui ne forme que çà et là une mince bordure à l'olivine; enfin, quelques grains de *titanomagnétite* et de *pléonaste* vert foncé.

Le plagioclase doit sa couleur sombre à une quantité extraordinaire de spinelle vert; celui-ci présente presque toujours des formes géométriques; mais l'octaèdre régulièrement développé est rare, il est le plus souvent déformé par allongement suivant un axe binaire, avec développement très dissymétrique des diverses faces octaédriques. Dans beaucoup de plages de *bytownite*, ces cristaux de spinelle ont leur axe d'allongement orienté parallèlement à la trace des macles de l'albite et de la péricline.

Cette roche est une *troctolite amphibolique* remarquable, qui fait pressentir dans le massif de l'Anabohitsy l'existence probable de péridotites du type wehrlite. C'est la seconde fois que j'ai l'occasion de rencontrer ce type rare de roche basique parmi des séries pétrographiques provenant de Madagascar; j'ai trouvé en effet, il y a quelques années, parmi des roches rapportées par M. E. Gautier de l'Ambongo, c'est-à-dire encore de la côte ouest (le gisement précis est Fonjay), une roche à gros grains, ressemblant au premier abord à un cipolin à chondrodite. Elle est uniquement formée de *bytownite* blanc de lait et d'olivine jaune clair; cette forme leucocrate de troctolite rappelle un peu certains types des Hébrides étudiés par MM. Geikie et Judd.

C'est très certainement une roche de la même famille, qui a fourni un très gros fragment d'hypersthène, mesurant $7^{\text{cm}} \times 4^{\text{cm}} \times 2^{\text{cm}}$, qui a été envoyé en 1901 au Muséum avec

l'indication de pays Mahafaly sans gisement précis. Il constitue un seul individu cristallin; aplati parallèlement au clivage facile. Il a subi une déformation mécanique (1) extraordinairement intense; il est plissé en accordéon, comme aurait pu l'être une substance très plastique.

Ces quelques lignes sont suffisantes pour montrer l'intérêt minéralogique que présente le pays Mahafaly; j'aurai sans doute prochainement l'occasion de revenir sur ce sujet.

Observations au sujet d'une Note de M. E. Boubée.

« *Sur un nouveau gisement uranifère français* » ;

Par M. FERDINAND GONNARD.

Notre collègue M. E. Boubée, dans la Note *Sur un nouveau gisement uranifère français* (2), fait mention du gisement de chalkolite de Charbonnières-les-Varennnes, en ajoutant qu'il a été signalé, *il y a une quarantaine d'années*, c'est-à-dire vers 1865 environ; mais M. Boubée ne dit pas par qui, ni dans quelle publication.

Or, depuis près de cinquante ans que je m'occupe, *en praticien*, de la Minéralogie du plateau Central, et spécialement de celle du département du Puy-de-Dôme, je n'ai jamais vu dans aucune des très nombreuses collections minéralogiques

(1) Les roches que j'ai examinées sont remarquablement intactes au point de vue structurel; une seule, qui est une granulite éruptive (à 2 heures 30 minutes d'Ampanthy sur le chemin de Békily), présente dans son quartz des traces d'actions mécaniques sous forme d'extinctions roulantes tout à fait extraordinaires.

(2) *Bulletin de la Société de Minéralogie*, t. XXVIII, p. 243.

que j'ai visitées à Clermont-Ferrand, à Issoire, à Vic-le-Comte, à Saint-Amand-Tallende, à Pontgibaud, etc., le moindre échantillon auvergnat de chalkolite ou d'uranite; je n'ai jamais vu non plus qu'il ait été question d'un gisement auvergnat dans aucun mémoire ou livre de Minéralogie locale ou générale.

Assurément, dans l'espèce, la question de priorité n'a pas une bien grande importance. Je tiens cependant à dire que je crois être le premier qui ait signalé la chalkolite près du petit hameau de Douriaux, au nord et à 2^{km} de Charbonnières-les-Varennes (¹). J'ajoute, pour être absolument précis, ou, plutôt, je répète ici que j'ai observé le premier échantillon de cette espèce minérale dans la collection d'un *autre praticien* de Clermont-Ferrand, M. Nicaise, qui l'avait *recueilli in situ*, mais le rapportait au cuivre carbonaté vert; mon rôle se borna à rectifier sa détermination.

M. Nicaise me conduisit au gisement, de peu d'importance d'ailleurs, et qui, à cette époque, était exploité, me fut-il dit, pour l'empierrement de la route de Riom à Manzat; le hameau de Douriaux est à peu de distance de cette route, à peu près à la hauteur de Châtelguyon (²).

J'étais attiré à Douriaux par l'espoir d'y trouver peut-être un indice de la continuation des gîtes d'étain de Pontgibaud.

Trois ans plus tard, j'ai encore signalé la chalkolite et l'uranite réunies dans une granulite de Farérolle, commune de Bourg-Lastic, dont mon jeune ami, M. Demarty, alors instituteur à Bourg-Lastic, m'avait envoyé des échantillons. M. Demarty avait reconnu la chalkolite; j'observai ensuite dans cette roche, avec de nombreux petits cristaux ou gra-

(¹) Voir, à cet égard, ma Note du 22 octobre 1888, aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.

(²) Voir la feuille de Gannat.

nules d'une fluorine d'un violet foncé, presque noir, quelques prismes d'apatite verdâtre et des cristaux de mispickel altéré, des lamelles d'uranite irrégulièrement distribuées dans la masse de la granulite (¹).

Sur les Enroulements hélicoïdaux dans les corps cristallisés;

Par M. FRED WALLERANT.

Bien des corps fondus, dissous, ou cristallisés, modifient les propriétés de la lumière de telle sorte que, placés entre deux nicols à 90°, ils rétablissent le passage de la lumière; de plus, si cette dernière est homogène, il suffit de tourner l'analyseur ou le polariseur d'un angle déterminé pour l'éteindre, mais la rotation doit se faire, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. On interprète ces résultats en disant que le corps possède le pouvoir rotatoire, et qu'il fait tourner le plan de polarisation tantôt dans le sens des aiguilles d'une montre, tantôt dans le sens opposé; mais, quelle que soit la nature intime du phénomène, il est certain qu'il ne peut résulter que d'une structure dissymétrique du corps, puisque, dans l'hypothèse d'une structure symétrique, le plan de polarisation devrait tout aussi bien tourner dans un sens que dans l'autre. Il y a un intérêt majeur à mettre cette dissymétrie en évidence par d'autres

(¹) Voir, à ce sujet, ma Note *Sur une granulite de Farérolle, commune de Bourg-Lastic* (Puy-de-Dôme) (*Bulletin de la Société française de Minéralogie*, 1891, p. 223).

phénomènes que le phénomène optique, dont la nature est tout hypothétique; c'est ce qu'a fait Pasteur en montrant que les corps possédant le pouvoir rotatoire présentaient certaines particularités dans leurs formes cristallines, que les formes cristallines des corps faisant tourner le plan de polarisation dans le sens des aiguilles d'une montre, autrement dit des corps dextrogyres, étaient symétriques des formes cristallines des corps lévogyres. A vrai dire, cette loi n'est pas aussi générale que l'avait cru Pasteur, car, dans certains cas, que le corps possède ou non le pouvoir rotatoire, les formes cristallines présentent une symétrie supérieure à celle de la structure, et la dissymétrie prévue par la loi de Pasteur disparaît.

J'ai eu l'occasion de constater une autre manifestation matérielle de la dissymétrie des corps optiquement actifs, et ce nouveau phénomène offre ceci de particulier que la dissymétrie se manifeste également par une rotation, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, comme dans le phénomène lumineux.

En 1892, MM. Michel-Lévy et Munier-Chalmas ont remarqué que le long d'une fibre de calcédoine l'orientation optique variait d'une façon continue, et ils s'expriment ainsi à ce sujet : « Dans les beaux sphérolites de calcédoine, régulièrement zonés, il faut se représenter que les indices n_g et n_m tournent autour de n_p (parallèle à l'axe de la fibre) à mesure qu'on suit une fibre du centre à la périphérie, de telle sorte que chacun de ces indices décrit une surface hélicoïdale et que le pas de l'hélice suit une même loi dans toutes les fibres (¹). »

Cette découverte, si importante, a été le point de départ de notre étude; ayant observé de semblables enroulements dans

(¹) *Bull. de la Soc. de Minéralogie*, vol. XV, p. 164.

les mélanges isomorphes de bromate de sodium et d'azotate de sodium, j'ai cherché à les reproduire dans d'autres corps et à en déterminer la cause.

Le plus bel exemple que l'on puisse citer, le plus facile à obtenir, est certainement celui de la malonamide. Nous allons le décrire en détail, pour pouvoir passer plus rapidement sur les autres cas.

La malonamide est une substance dimorphe, dont les deux modifications s'obtiennent sans difficulté, par fusion sur un porte-objet. Si l'on recouvre la substance fondue d'un couvre-objet, elle cristallise par refroidissement, le plus souvent sous la modification instable, mais il arrive très fréquemment que l'on observe côte à côte les deux modifications. La modification instable est peu biréfringente et biaxe, la modification stable au contraire est uniaxe et très biréfringente. Ajoutons à la malonamide fondue une certaine quantité d'acide santonique, quantité qui d'ailleurs peut être très variable; les deux substances fondues se mélangent, et par refroidissement la malonamide cristallise en milieu santonique, mais les deux modifications se présentent alors sous forme de sphérolites radiés que l'on obtient simultanément. La figure 1, Pl. I, représente un sphérolite de la modification stable vu en lumière polarisée parallèle, et la figure 2, Pl. I, un sphérolite de la modification instable vu dans les mêmes conditions. Il nous faut les étudier successivement.

En lumière parallèle, les sphérolites de la modification stable montrent une série de zones concentriques, les unes éteintes et restant éteintes quand on fait tourner la préparation, les autres alternant avec les précédentes et montrant une teinte qui, du point central à la zone obscure, va graduellement en descendant dans l'échelle de Newton, et, comme le corps cristallisé est très biréfringent, la teinte du point central monte assez souvent au rouge du second et même du

troisième ordre. Étudions maintenant l'une des fibres, qui s'éteint suivant sa longueur, et examinons-la en lumière convergente avec un objectif assez puissant et un oculaire de Czapski, pour isoler un fragment assez petit. Orientons d'abord la fibre est-ouest, en la faisant avancer de l'ouest à l'est; quand l'objectif se trouve au-dessus d'un point obscur de la fibre, on voit une croix noire, puis, si l'on regarde directement l'image à l'œil nu, le centre de cette croix monte vers le haut du champ, ainsi que la branche est-ouest, l'autre branche traversant toujours le champ suivant la direction nord-sud; puis on voit le centre réapparaître, ainsi que la branche est-ouest, par le bas du champ et monter progressivement dans le champ. Le même phénomène se reproduit autant de fois qu'il y a de zones obscures dans le sphérolite.

Orientons maintenant la fibre à 45° des plans de vibration de l'analyseur et du polariseur, et faisons-la avancer du nord-ouest au sud-est; au-dessus d'une zone obscure nous verrons encore une croix noire, puis, la fibre avançant, nous verrons le centre se déplacer, dans le champ, dans la direction nord-est, entraînant les deux branches de la croix. En même temps, les anneaux colorés qui entourent le centre sont entraînés avec lui, puis sont remplacés par des courbes elliptiques, qui s'allongent et se transforment en courbes hyperboliques, comme en donne tout uniaxe taillé parallèlement à l'axe, puis on voit réapparaître les courbes elliptiques par le côté sud-ouest du champ; ces anneaux deviennent circulaires en même temps que réapparaissent les branches, puis le centre de la croix noire. Or, si dans la première orientation le centre se déplace vers le haut du champ, cela provient évidemment de ce que l'axe optique, primitivement parallèle à l'axe du microscope, s'incline, dans les points successifs de la fibre, de plus en plus vers le nord, en tournant autour de l'axe de la fibre, qui lui est perpendiculaire, devient parallèle

à l'horizon, puis se redresse par son autre extrémité, de façon à redevenir parallèle à l'axe du microscope après une rotation de 180° . Or, considérons un point situé sur l'axe optique à une distance constante de l'axe de la fibre, ce point décrira une hélice, et si nous plaçons la fibre devant nous, de façon que le point décrive l'hélice en venant vers nous, nous le verrons tourner dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre. Par conséquent l'enroulement est lévogyre.

La figure 2, Pl. I, représentant un sphérolite de la modification biaxe, peu biréfringente, nous montre des zones noires, très nettes, alternant avec des zones claires de deux sortes, les unes plus étroites, ayant une biréfringence moins élevée que les autres qui sont plus larges. Si nous considérons une fibre et que nous l'examinions en lumière convergente, en un point d'une zone noire, nous constatons que la fibre est perpendiculaire à un axe optique; au centre d'une zone éclairée étroite, elle est perpendiculaire sur une bissectrice aiguë, et, **au centre** d'une zone large, elle est perpendiculaire sur une **bissectrice obtuse** de l'angle des axes optiques; dans toutes les positions, on se rend d'ailleurs facilement compte que le plan des axes optiques est perpendiculaire sur la fibre. La fibre étant orientée sur la platine du microscope suivant la direction est-ouest, faisons-la avancer de l'ouest vers l'est; quand on se trouve au milieu d'une zone étroite, on voit une croix noire, dont le centre occupe le centre du champ, et **résultant** de la fusion des deux branches de l'hyperbole, ligne neutre. Quand la fibre avance, on voit le centre de la croix noire, dans le cas présent, descendre dans le champ suivant la ligne nord-sud, puis disparaître en même temps que la branche est-ouest, puis on voit réapparaître par le haut une croix noire et, quand elle occupe le centre du champ, on constate facilement qu'elle correspond à la bissectrice obtuse, et ainsi de suite.

Si l'on oriente la fibre à 45° des plans de vibration de l'analyseur et du polariseur, la ligne neutre a la forme d'une hyperbole rapportée à ses axes, et les courbes isochromatiques, si la préparation est suffisamment épaisse, se déforment progressivement quand la fibre avance. On voit donc que l'enroulement se fait autour de l'axe moyen, qui est parallèle à la direction d'allongement de la fibre et que cet enroulement est dextrogyre.

Dans les deux modifications l'enroulement est très régulier, c'est-à-dire que le pas de l'hélice est très constant; sa mesure permettrait d'avoir une valeur très approchée de l'angle des axes optiques dans l'air. La longueur de ce pas varie avec la quantité d'acide santonique mélangée à la substance; quand cette quantité s'élève de trop, le pas devient si court que l'examen en lumière convergente est impossible. L'étude des deux sortes de sphérolites est encore intéressante en ce qu'elle permet de voir les modifications de forme que prennent les lignes neutres et les courbes isochromatiques, quand on change l'orientation du cristal étudié.

Les deux exemples précédents suffiront pour faire comprendre la marche suivie pour déterminer le mode d'enroulement et le sens de la rotation; pour les cas suivants, il nous suffira donc d'indiquer les résultats, sans entrer dans de plus amples détails.

Il a été dit plus haut que la malonamide présente deux modifications cristallines; en réalité, deux modifications seulement peuvent être obtenues sans difficulté, mais il en existe une troisième, biaxe, très biréfringente, qu'il est difficile de faire naître, parce qu'elle demande une surfusion trop prononcée. Elle se présente sous forme de fort beaux sphérolites, que l'on n'observe que d'une façon accidentelle. L'enroulement est dextrogyre avec l'acide santonique, mais il se fait autour de la bissectrice aiguë de l'angle des axes

optiques ; aussi en lumière parallèle le sphérolite ne présente pas de zone obscure, mais des zones vivement colorées, car, dans aucune orientation, les axes optiques ne peuvent devenir perpendiculaires à la fibre.

Quand on ajoute à la malonamide une quantité trop grande d'acide santonique ou que l'on chauffe trop longtemps la préparation, la modification uniaxe cristallise avec des caractères un peu particuliers : il se produit tout d'abord des sections quadrangulaires perpendiculaires à l'axe optique, qui se prolongent sur tout leur pourtour sous forme de fibres, suivant lesquelles se produit l'enroulement. Il en est de même quand à la malonamide on ajoute de l'acide tartrique, soit gauche, soit droit ; la modification biaxe n'apparaît pas et la modification uniaxe se présente sous forme de sections quadrangulaires, qui sont le point de départ d'enroulement, atteignant rarement 180° . Mais il est un fait important à signaler : l'enroulement est dextrogyre avec l'acide droit et lévogyre avec l'acide gauche. Quant à l'acide racémique, il peut gêner la cristallisation de la malonamide, mais il ne détermine pas la formation d'enroulement.

Quand on chauffe assez longtemps la malonamide avec l'un des acides tartriques, on obtient par refroidissement de fort beaux sphérolites, présentant des enroulements très nets, autour d'une bissectrice obtuse de l'angle des axes optiques ; mais, comme il est probable qu'ils sont constitués par une substance résultant de la combinaison de l'acide et de la malonamide, ou de leurs dérivés, je n'insisterai pas.

ACIDE GLYCOLIQUE. — Cet acide possède deux modifications cristallines, l'une stable, l'autre instable, toutes les deux biaxes et très biréfringentes. Quand on fait cristalliser par refroidissement l'acide fondu entre un porte-objet et un couvre objet, presque toujours c'est la modification instable

qui apparaît pour se transformer, presque aussitôt, en la modification stable. Mais la modification instable se présente avec un aspect tout particulier : les cristaux sont groupés autour du point de départ de la cristallisation et disposés symétriquement par rapport à ce point, qui est, par suite, un centre de symétrie du groupement ; de plus, les cristaux sont généralement contournés dans le plan de la préparation.

Si l'on ajoute à cet acide une petite quantité d'acide tartrique, finement pulvérisé de façon à faciliter sa fusion, on obtient, par refroidissement, des sphérolites présentant des enroulements aussi nets, aussi réguliers que ceux de la malonamide ; ces enroulements ont lieu autour de l'axe moyen d'élasticité optique parallèle à l'axe de la fibre ; mais, comme l'acide glycolique est plus biréfringent que la malonamide, il en résulte que les zones noires, correspondant aux axes optiques, sont plus fines et plus nettes que dans cette substance. Ces sphérolites appartiennent à la modification instable et se transforment bientôt en cristaux de la modification stable, cristaux qui, bien entendu, ne présentent plus d'enroulement.

Ici encore, il faut insister sur ce point que les enroulements déterminés par l'adjonction d'acide tartrique droit sont dextrogyres, tandis que, au contraire, ceux donnés par l'acide gauche sont lévogyres. L'acide racémique ne donne pas d'enroulement.

Pour observer les enroulements de la modification stable, il faut en déterminer la cristallisation directe sans passer par l'intermédiaire de la modification instable ; pour cela il suffit d'appuyer sur la préparation liquide avec l'extrémité d'une pince ; si, dans ces conditions, la modification instable apparaît, elle se transforme en la stable, qui, ainsi amorcée, cristallise directement. Pour avoir des phénomènes nets, il faut que la préparation soit mince.

La figure 1, Pl. II, représente ces enroulements vus en lumière parallèle; il y a, comme on le voit, des bandes noires alternant avec deux sortes de bandes claires, mais les bandes noires ne restent pas obscures quand on fait tourner la préparation; elles ne correspondent donc pas à des points auxquels un axe optique est perpendiculaire sur la fibre. L'examen en lumière convergente révèle, en effet, un enroulement beaucoup plus compliqué; il a lieu autour d'une droite parallèle à l'axe de la fibre, à peu près perpendiculaire sur l'une des bissectrices des axes optiques, située dans le plan de deux axes d'élasticité optique, mais faisant avec eux des angles voisins de 45° . Si donc on place la fibre étudiée suivant la direction est-ouest, on voit à un moment donné la figure habituellement fournie par un biaxe taillé perpendiculairement à une bissectrice; puis, la fibre avançant, on voit l'image descendre, par exemple, dans la direction nord-est vers sud ou est, puis, à un moment donné, elle descend dans la direction nord-ouest vers sud-est, et ainsi de suite dans l'une et dans l'autre direction. Mais, contrairement à ce qui a lieu pour la modification stable, l'enroulement est dextrogyre avec l'acide gauche et lévogyre avec l'acide droit.

Dans les exemples précédents, la substance qui détermine la rotation, l'acide tartrique, possède ce que l'on pourrait appeler un pouvoir rotatoire énergétique; mais, pour éviter la confusion, nous dirons que l'acide tartrique est doué d'une action de rotation puissante, en ce que le sens de la rotation du corps cristallisé ne dépend que du signe de rotation de l'acide tartrique employé. Mais il est d'autres corps actifs qui déterminent la rotation du corps cristallisé, mais non le sens de leur rotation, par suite de certaines propriétés inconnues du corps enroulé. Si, par exemple, nous ajoutons une petite quantité d'acide santonique à de l'acide glycolique, la modification instable de celui-ci donne des sphérolites dans les

quels l'enroulement ne se produit que suivant deux secteurs opposés par le sommet et dans ces deux secteurs le sens de l'enroulement est différent. Cela doit tenir à cette propriété de l'acide glycolique, signalée plus haut, de donner naissance à des groupements de cristaux symétriques par rapport au centre du groupement; l'enroulement se produit en deux sens différents, de façon que cette symétrie soit conservée. La rotation se produit toujours ~~autour~~ de l'axe moyen et, si elle n'a lieu que dans deux secteurs, cela tient probablement à ce que, au début de la cristallisation, l'axe moyen ne se trouve parallèle à l'axe de la fibre que dans ces deux secteurs. Mais, si la quantité d'acide ~~santonique~~ est assez élevée, les résultats sont différents; l'enroulement ne se produit que dans un secteur et, fait important, il est toujours dextrogyre; dans les autres parties du sphérolite la cristallisation est confuse, comme si l'enroulement tentait de se produire sans y parvenir, par suite du fait que l'axe moyen n'est pas dirigé suivant le rayon, suivant l'axe de la fibre.

D'autre part, une forte quantité d'acide ~~santonique~~ peut déterminer l'enroulement de la modification stable, suivant un mode que nous n'avons pas encore rencontré. Si l'on détermine le passage direct de l'état liquide à la modification stable, celle-ci montre un enroulement autour de la bissectrice aiguë des axes optiques, de sorte que, suivant une fibre, on voit successivement des régions perpendiculaires à la bissectrice et perpendiculaires à l'axe moyen, avec toutes les orientations intermédiaires. Cet enroulement ~~est~~ toujours lévogyre. Mais, si la modification ~~stable~~ est obtenue par transformation de la modification instable, on peut rencontrer dans la préparation des enroulements ne différant des précédents que parce qu'ils sont dextrogyres, et cela est facile à comprendre. La transformation, en général, commence en un point quelconque et se propage dans toutes les directions,

de sorte que, le plus souvent, les nouveaux cristaux ne présentent pas d'enroulement. Mais quelquefois la transformation se propage parallèlement aux fibres de la modification instable et alors il y a relation d'orientation des deux modifications, l'axe moyen et la bissectrice obtuse de la modification instable devenant respectivement la bissectrice obtuse et l'axe moyen de la modification stable. La nouvelle modification est donc enroulée; mais, naturellement, le sens de l'enroulement n'est pas modifié, il est toujours dextrogyre.

L'acide santonique, que nous venons d'employer, est lévogyre, mais avec le camphre ordinaire, qui est dextrogyre, on obtient également les deux enroulements symétriques; il n'est plus possible, il est vrai, de faire disparaître l'un d'eux en forçant la dose, car cette substance ne se dissout dans l'acide glycolique qu'en quantité très limitée et l'excès cristallise séparément.

Une faible quantité de camphre suffit d'ailleurs pour déterminer l'enroulement de la modification stable, mais ces enroulements sont identiques à ceux que déterminent les acides tartriques, c'est-à-dire ont lieu autour d'une droite perpendiculaire autour de la bissectrice obtuse et faisant des angles de 45° environ avec les deux autres axes d'élasticité optique.

HYDROQUINONE. — Cette substance présente deux modifications cristallines, assez difficiles à distinguer, et cela d'autant plus qu'on les obtient fréquemment côte à côte dans la même préparation : la modification instable est cependant moins biréfringente que la stable. Si à la substance on ajoute une quantité suffisante d'acide tartrique, les deux modifications, sous l'influence de ce corps, s'enroulent autour d'axes différents et en sens différents. La modification stable forme des sphérolites, assez réguliers, composés de fibres allongées

suivant la bissectrice obtuse de l'angle des axes optiques, et c'est autour de cette bissectrice que se produit l'enroulement. En lumière parallèle, le sphérolite ne présente donc pas de zone obscure, puisqu'en aucun point de la fibre un axe optique n'est parallèle à l'axe du microscope : le sphérolite ne présente que des zones colorées qui diffèrent par la teinte de polarisation, puisque la biréfringence varie d'une façon continue depuis celle d'une section perpendiculaire à la bissectrice aiguë jusqu'à celle d'une section perpendiculaire à l'axe moyen (*fig. 2, Pl. II*).

Les enroulements de la modification instable, quoique peut-être plus réguliers que les précédents, sont assez difficiles à étudier, par suite de la petitesse du pas de l'hélice et de la faible biréfringence des fibres. En lumière parallèle, celles-ci montrent des zones obscurées, très fines et très serrées, qui se déplacent, mais très peu, quand on fait tourner la préparation; il faut donc en conclure qu'il y a un axe optique à peu près perpendiculaire sur la fibre, autrement dit sur l'axe d'enroulement : c'est ce que confirme l'examen en lumière convergente; mais il n'a pas été possible de déterminer avec plus de précision la position de l'axe d'enroulement relativement aux éléments de l'ellipsoïde d'élasticité optique.

Quant au sens de l'enroulement, il est dextrogyre dans la modification stable quand on lui ajoute de l'acide tartrique droit et lévogyre si l'on ajoute de l'acide gauche. Dans la modification instable, c'est l'inverse qui a lieu, l'enroulement est lévogyre avec l'acide droit et dextrogyre avec l'acide gauche.

RÉSORCINE. — Cette substance isomère de la précédente est comme elle dimorphe et s'enroule sous l'influence de l'acide tartrique. Dans les deux modifications, l'enroulement

a lieu autour de l'axe moyen ; mais dans la modification stable, qui est plus biréfringente, dont l'angle des axes est plus grand, l'enroulement est moins régulier que dans la modification instable, qui s'enroule avec une régularité comparable à celle de la malonamide. Comme pour l'hydroquinone, l'enroulement est du même sens que la rotation de l'acide ajouté, pour la modification stable, et de sens contraire pour la modification instable.

AZOTATE DE SODIUM. — Le cas de l'azotate de sodium est particulièrement instructif. Mélangé au bromate de sodium, il donne naissance à deux séries de cristaux mixtes, les uns uniaxes, comme l'azotate, les autres cubiques, comme le bromate. Les deux séries de cristaux mixtes sont séparées par une lacune, c'est-à-dire que, si l'on fait cristalliser un magma présentant l'une des compositions correspondant à cette lacune, on obtient un conglomérat de deux espèces de cristaux mixtes, les uns uniaxes et les autres cubiques. Mais, si la cristallisation est précédée de surfusion, les cristaux uniaxes dissolvent l'excès de bromate et alors présentent un enroulement autour d'une perpendiculaire à l'axe optique ; dans la même préparation, on observe d'ailleurs des enroulements dextrogyres et des lévogyres, les résultats étant les mêmes, quel que soit le signe du cristal de bromate employé. Ce qui ne saurait étonner, puisque, quand on fait fondre et cristalliser un cristal de ce sel, on obtient autant de cristaux gauches que de cristaux droits, quel que soit le signe du cristal primitif.

CONCLUSIONS. — Il faut tout d'abord faire remarquer que tous les cristaux enroulés que nous venons de décrire possèdent un caractère commun, celui d'être instables : si on les chauffe légèrement, ils se troublent par suite de l'exsudation d'une partie du corps dissous, qui se sépare sous forme

de cristaux microscopiques; la séparation peut d'ailleurs se faire spontanément au bout d'un temps variable suivant le cas considéré. Grâce à la surfusion, la substance enroulée dissout un excès du corps actif, il y a *sursaturation*, sans que la quantité du corps dissous puisse dépasser une certaine limite, limite qui dépend de la substance, de sa structure cristalline et enfin de son orientation. Quand en effet la substance est dimorphe de façon à donner ses deux modifications dans la même préparation, on constate assez souvent que l'une des modifications est trouble tandis que l'autre est parfaitement limpide. D'autre part, on peut constater que le long d'une fibre enroulée de certaines substances il y a des zones troubles, qui se répètent périodiquement et alternent avec des zones limpides, les deux sortes de zones correspondant à des orientations déterminées de la fibre. Ce fait correspond parfaitement avec les observations de M. Gaubert, qui a montré qu'un cristal ne dissolvait pas les mêmes quantités d'un corps étranger suivant ses différentes faces.

On peut se demander à quel état se trouve le corps dissous dans la substance cristallisée : est-il simplement dissous, comme le serait un corps colorant, ou constitue-t-il avec la substance un mélange isomorphe? C'est certainement la première façon de voir qui concorde le mieux avec les faits observés, car il est à remarquer que les caractères de la substance enroulée ne sont pas modifiés par la présence du corps : les propriétés optiques restent les mêmes, ce qui n'a généralement pas lieu quand les deux corps mélangés présentent des propriétés différentes.

Dans l'hypothèse de l'isomorphisme il faudrait en effet admettre que, dans tous les cas précédemment considérés, les deux corps sont isodimorphes et qu'en outre les deux modifications mélangées possèdent des propriétés physiques presque identiques, ce qui est bien improbable.

En passant je ferai remarquer que l'on se trouve ici en présence de véritables solutions solides et qu'en outre, pour la première fois, je crois, on constate la possibilité de sursaturation dans ce genre de solution. D'autre part ces résultats jettent un certain doute sur la légitimité des conclusions de certains auteurs, qui de la présence d'un corps dans un édifice cristallin en concluent l'isomorphisme des deux substances.

Voyons maintenant quelle peut être la cause de l'enroulement. Comme on l'a vu, les acides tartriques gauche et droit engendrent des enroulements de sens différents, tandis que l'acide racémique est inactif. Il faut forcément que l'origine de l'enroulement réside dans la dissymétrie, qui est la cause première du pouvoir rotatoire. Mais comme l'acide droit, par exemple, fait tourner certains édifices cristallins à droite et d'autres à gauche, il en faut conclure que le signe du corps actif n'intervient pas seul dans la détermination du sens de l'enroulement, et que certaines particularités de structure moléculaire ou cristalline font sentir leur influence; les enroulements en sens contraire de la modification instable de l'acide glycolique, sous l'influence de l'acide santonique, ne sauraient donc nous étonner. Autrement dit, on se trouve en présence de relations du même ordre que celles existant entre le pouvoir rotatoire et les formes cristallines. L'acide tartrique qui, en dissolution, fait tourner à droite le plan de polarisation, en cristallisant, donne naissance à des cristaux qui le font tourner à gauche et qui présentent des formes cristallines droites; dans d'autres cas, le corps droit prend, en cristallisant, des formes cristallines gauches, ou bien encore, comme dans le sulfate de strychnine, les deux demi-formes se rencontrent sur le même cristal qui est holoédrique, tout au moins en apparence.

Mais le cas de l'azotate de sodium, s'enroulant sous

l'influence du bromate, va nous permettre d'aller plus loin. On sait, en effet, que le bromate en dissolution est inactif, c'est-à-dire ne fait pas tourner le plan de polarisation; d'autre part, un cristal droit, par exemple, par fusion ou par dissolution, donne naissance à autant de cristaux droits que de cristaux gauches; il faut donc admettre que le pouvoir rotatoire résulte de la structure du corps cristallisé, de la dissymétrie de sa particule cristalline; mais alors nous sommes amenés à conclure que ce n'est pas la molécule du bromate, mais la particule, qui est dissoute dans l'azotate et qui en détermine la rotation. Cette conclusion doit forcément être généralisée, et nous sommes ainsi amenés à admettre que ce sont les **particules cristallines** de l'acide tartrique, de l'acide santonique, qui **déterminent la rotation** des substances que nous avons étudiées. Cette suite de **déductions** peut être poussée plus loin, et l'on peut se demander si un **corps doit** forcément posséder le pouvoir rotatoire pour déterminer l'enroulement. Pour répondre à cette question, il suffit de remarquer que des cristaux ne possédant pas le pouvoir rotatoire présentent cependant des formes cristallines mériédriques de même nature que celles des cristaux actifs. Cette mériédrie est la conséquence de la dissymétrie de la particule cristalline, qui, par suite, sans posséder le pouvoir rotatoire, jouit peut-être des particularités qu'exige le pouvoir d'enroulement.

En résumé, le résultat intéressant de cette étude est de montrer une manifestation matérielle d'une dissymétrie, qui n'est révélée ordinairement que par un phénomène de nature hypothétique, la rotation du plan de polarisation. Dire que le plan de polarisation tourne, c'est, en effet, relater un fait conformément aux conséquences d'une hypothèse sur la nature de la lumière; mais, en réalité, nous ignorons en

quoi consiste le phénomène. Or, dans les expériences précédentes, nous voyons les corps jouissant de cette propriété, désignée sous le nom de *pouvoir rotatoire*, déterminer des enroulements, les uns dextrogyres, les autres lévogyres, et donner ainsi une représentation matérielle de cette propriété.

Mais il est une autre question qui mérite d'appeler notre attention : quelle est la structure d'une fibre le long de laquelle l'orientation optique se modifie d'une façon continue ? On peut dire qu'elle est constituée de petits cristaux ayant tourné l'un par rapport à l'autre d'une faible quantité. C'est là une façon de voir qui a l'avantage d'établir un lien entre la structure de la fibre et la structure d'un cristal ordinaire. Mais l'enroulement est si régulier, si continu, que l'on ne peut s'empêcher de trouver cette conception bien schématique et bien élémentaire. Son seul avantage est de ramener la structure de la fibre à une structure avec laquelle nous sommes familiarisés et de nous éviter un nouvel effort. En réalité, on est obligé d'attribuer aux cristaux de si petites dimensions, que l'on est amené par cela même à considérer la fibre comme homogène au même titre que les corps cristallisés ordinaires. Mais les éléments constitutants, les particules cristallines, au lieu d'être orientés parallèlement, tournent d'un angle très petit l'un par rapport à l'autre dans un sens déterminé. En un mot, nous nous trouvons en présence d'édifices de structure toute spéciale, dans lesquels il n'y a pas de répartition réticulaire, mais une répartition hélicoïdale : les mêmes éléments, les mêmes particules cristallines, peuvent donner naissance à deux édifices différents, les corps cristallisés et les corps hélicoïdaux ; ces derniers diffèrent de ceux-là parce qu'ils ne sont pas homogènes ; ils prennent naissance dans le milieu dissymétrique constitué par le corps

actif. Jusqu'ici nous connaissons donc trois sortes d'édifices anisotropes : les corps cristallisés, les gouttes anisotropes de Lehmann et les édifices hélicoïdaux.

Le titre de cet article, « Enroulements des corps cristallisés », n'est donc pas exact, mais on voudra bien m'excuser de l'avoir employé, puisque c'était en définitive le seul moyen de me faire comprendre.

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.

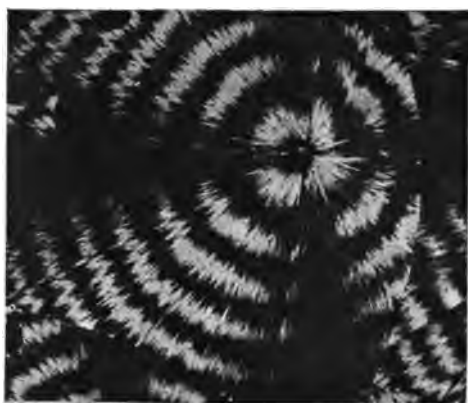


Fig. 1. — Enroulement d'un uniaxe autour
d'une normale à l'axe.



Fig. 2. — Enroulement d'un biaxe autour
de l'axe moyen.

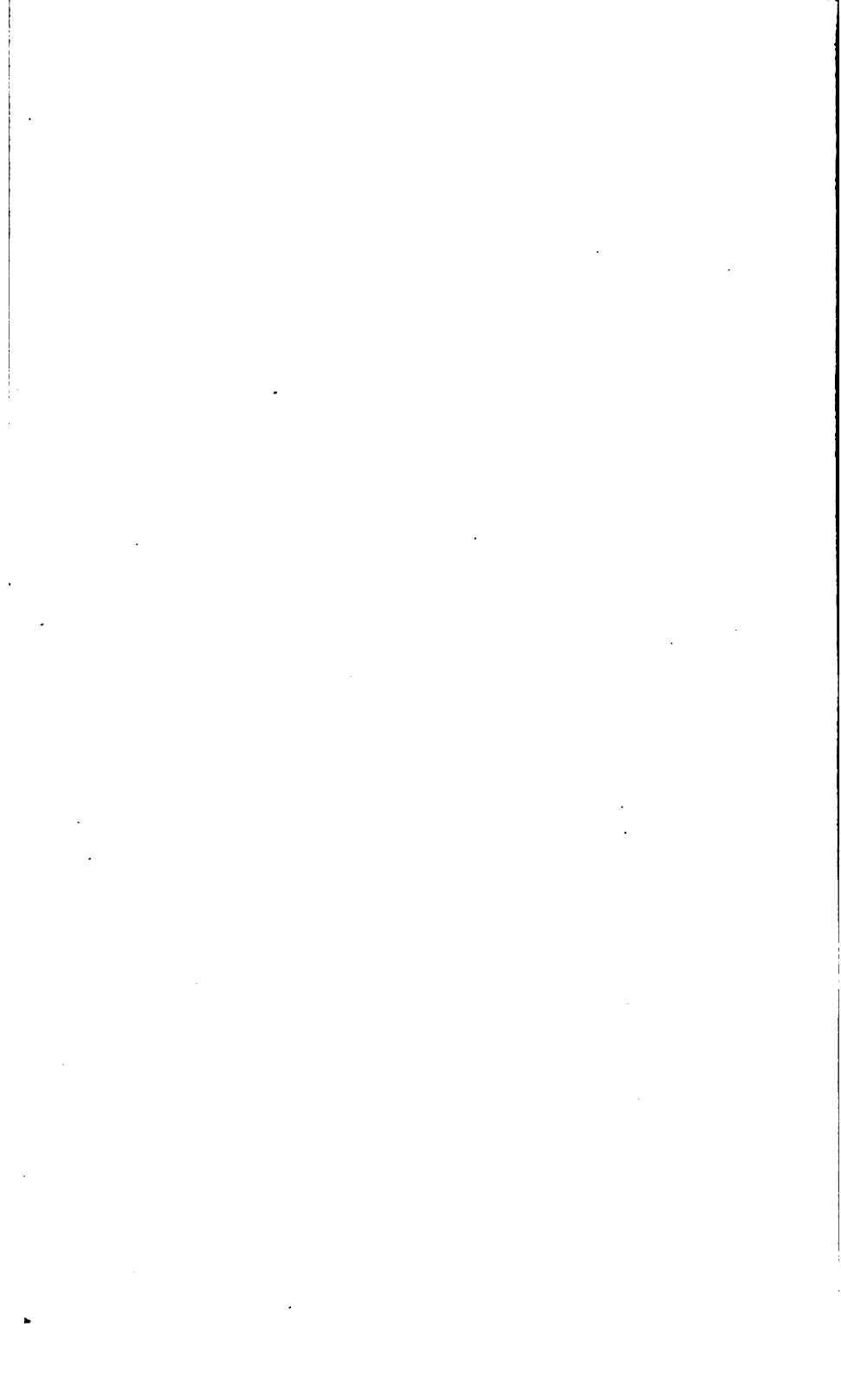
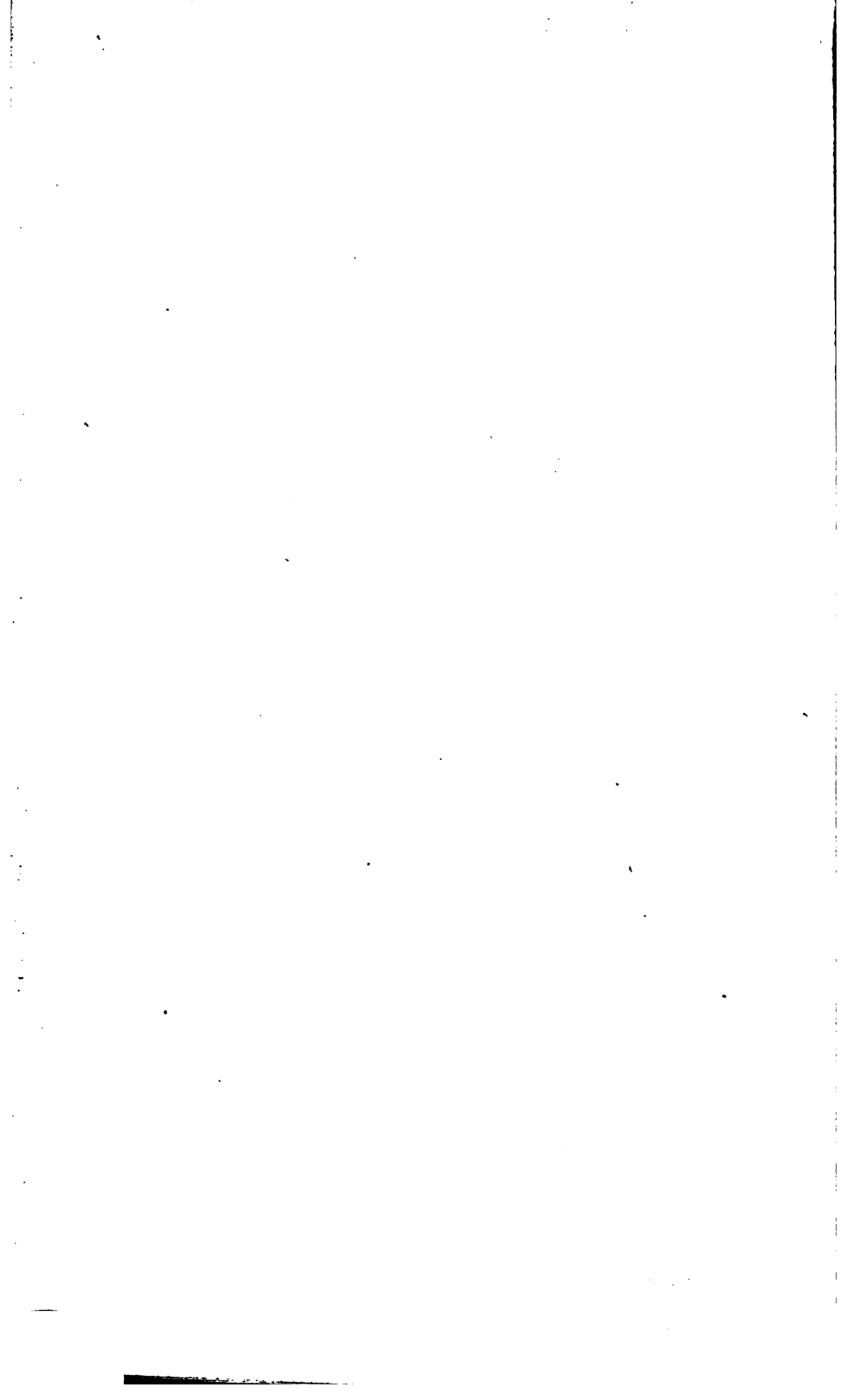




Fig. 1. — Enroulement d'un biaxe autour d'une droite oblique sur les axes d'élasticité.



Fig. 2. — Enroulement d'un biaxe autour d'une bissectrice obtuse.



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN n° 3.

Compte rendu de la Séance du 14 Mars 1907.

PRÉSIDENCE DE M. A. LACROIX, *Vice-Président.*

M. le PRÉSIDENT prend la parole en ces termes :

« Je suis certain d'être l'interprète de la Société entière, en exprimant l'émotion profonde que nous avons tous ressentie en apprenant la mort prématurée de notre Président.

» M. Moissan n'a fait que passer parmi nous. En l'appelant à la Présidence par un vote unanime nous avons voulu donner un témoignage d'estime au savant sympathique et bienveillant qu'il était et rendre hommage au chimiste éminent dont les belles découvertes ont jeté un si brillant lustre sur une science qui nous touche de près; nous avons voulu aussi l'attirer chez nous, avec l'espoir de l'y retenir.

» Cet espoir n'a pu, hélas ! se réaliser et nous ne pouvons que nous associer au deuil qui frappe la Science française.

» M. Copaux a bien voulu se charger de rappeler, dans notre

Bulletin, ceux des travaux de M. Moïssan qui se rapprochent le plus des questions qui font l'objet de nos études.

» J'ai également le regret de vous annoncer la mort d'un autre de nos confrères, M. Marcel Bertrand, dont les beaux travaux géologiques sont connus de tous. »

M. DE SCHULTEN décrit les propriétés chimiques et cristallographiques d'un nouveau chloro-arséniate de plomb, découvert par M. A. Lacroix dans les scories athéniennes des mines du Laurium.

M. WYROUBOFF analyse un Mémoire de M. Wulf « Sur les propriétés optiques des mélanges isomorphes ».

M. A. LACROIX met sous les yeux de la Société une nouvelle amphibole sodique provenant de Madagascar, sur laquelle une Note sera ultérieurement donnée.

Addition à l'étude cristallographique de la bournonite des mines de Pontgibaud (Puy-de-Dôme);

Par M. Ferdinand GONNARD.

Ayant récemment étudié quelques cristaux de bournonite de la mine de galène argentifère de Pranal (en aval de Pontgibaud), je viens ajouter quelques observations à une Note sur ce sujet insérée dans le *Bulletin*, t. XX, 1897, n° 8.

Les cristaux de bournonite de Pranal atteignent d'assez grandes dimensions, et j'ai eu l'occasion d'en contempler de magnifiques groupements sur galène dans le cabinet du directeur des mines de Pontgibaud et chez les capitaines des

mines de Roure et de Pranal, entre autres. L'étude de ces cristaux est souvent difficile, à cause de la complication que présentent les macles, constantes dans cette belle espèce minérale. En outre, aux limites des lignes de macles, il se produit des perturbations et, par suite, d'assez grandes variations d'angles. M. Groth m'avait communiqué, *in litteris* (février 1899), cette observation due à l'un de ses élèves, M. Peck; j'ai eu l'occasion de la vérifier sur des cristaux de Pranal, à faces larges et assez unies cependant.

D'autre part, les cristaux de Pranal ou de Roure, qu'ils se soient librement formés dans des géodes ou qu'ils aient été moulés par la barytine, ont leurs faces communément ternes; il n'y a que les faces de la zone mg^1h^1 qui soient, au contraire, presque constamment très éclatantes. Pour le noter en passant, il n'est pas très facile de comprendre pourquoi les causes d'altération qui ont agi sur p , a^2 , a^1 , e^1 , b^1 , $b^{\frac{1}{2}}$, etc., se sont arrêtées devant m , h^2 , h^1 , g^1 , etc.

Ces cristaux étant, en général, épais, lourds, ternes, très maclés ou irrégulièrement assemblés, on ne peut guère employer à les mesurer que le goniomètre d'Haüy. Il vient encore s'ajouter cette difficulté, savoir, que les lamelles nombreuses qui constituent les macles polysynthétiques suivant la face m semblent avoir glissé les unes sur les autres, comme s'il n'y avait entre elles aucune adhérence, et que le faisceau de leur ensemble ne fût maintenu que par des liens lâches. M. Miers a constaté, en effet, que les macles de bournonite se font par juxtaposition, et jamais par pénétration; et j'ai pu, sur une macle de Pranal, observer ce que j'ai pris d'abord pour un clivage vertical parallèle à m , et qui n'était autre qu'un plan de glissement d'une lamelle, très brillant et portant des stries fines verticales. Le fait se montre d'ailleurs très manifestement, entre autres sur les faces b^1 et $b^{\frac{1}{2}}$; de

sorte qu'un b^1 , par exemple, toujours beaucoup plus développé que $b^{\frac{1}{2}}$, offre souvent des interruptions nombreuses dues aux a^1 et e^1 qui l'accompagnent, et, par suite, un ensemble rugueux, plus ou moins fortement strié, impropre à donner une bonne incidence, même si la face a une certaine étendue.

Quoi qu'il en soit des difficultés d'étude des cristaux de bournonite des mines de Pontgibaud, je dois reconnaître comme parfaitement fondée une critique qu'avec beaucoup de courtoisie m'avait adressée M. Groth dans la lettre ci-dessus citée, et précédant son rapport dans le *Zeitschrift* (t. XXXI p. 82), au sujet du cristal de bournonite n° 1 de ma première étude cristallographique. Les faces que j'ai désignées par les lettres V_1 , α_1 et β_1 , et que j'ai indiquées comme nouvelles, ne sont autres que les faces $b^{\frac{1}{2}}$, a^1 et b^1 en position de macles; la mesure de l'angle $b^1\alpha_1 = 146^\circ 14'$ calculée et $146^\circ 9'$ observée ne s'accorde pas, il est vrai, avec la valeur de b^1a^1 , qui est de $151^\circ 44'$ calculée; mais l'angle $b^1V_1 = 160^\circ 19'$ calculé et $160^\circ 15'$ observé s'accorde au contraire assez bien avec la valeur de $b^1b^{\frac{1}{2}}$, qui est $160^\circ 35'$; et la notation de V_1 qui devient $b^{\frac{1}{2}}$ (voir *fig. 1* de mon premier Mémoire) entraîne celle de $\alpha_1 = a^1$ et de $\beta_1 = b^1$.

Une autre observation de M. Groth est relative à une quatrième face nouvelle, que j'ai observée sur le troisième cristal décrit dans mon premier Mémoire, et que j'ai notée $h^{\frac{2}{3}} = (18.5.0)$, bien que d'autres mesures m'aient conduit à la notation plus simple et voisine, soit $h^{\frac{1}{2}} = (19.5.0)$. M. Groth tient ces deux faces comme également douteuses. Mais j'ai retrouvé, comme je l'indique ci-après, dans la description du cristal n° 2 de la présente Note, entre les faces h^2 et h^1 , une face absolument incontestable par ses

dimensions et son éclat, un peu striée finement suivant l'arête h^3h^1 ; elle répond bien à l'une des notations que j'ai données, mieux à la seconde (19.5.0) qu'à la première (18.5.0).

Ceci posé, je passe à la description des cristaux suivants :

Cristal n° 1 (fig. 1).

Ce cristal est, en réalité, un groupement de deux macles polysynthétiques suivant m , habituelles à l'espèce, empilées sur le même axe principal, l'une, en apparence, un peu moins

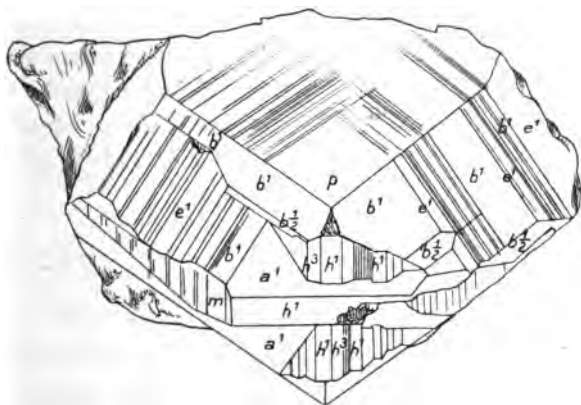


Fig. 1.

épaisse que l'autre. On peut le considérer comme un *vierling*. J'ai essayé de reproduire aussi fidèlement que possible cet ensemble, dont j'ai triplé à peu près les dimensions dans le dessin. Il présente l'aspect d'une macle cruciforme; mais, dans la figure ci-contre, les faces p ne sont pas comme dans la figure de Lévy, reproduite par Dufrénoy dans son Atlas (2^e édition, fig. 285), perpendiculaires l'une à l'autre, mais

bien parallèles entre elles. L'aspect cruciforme du présent cristal est dû à ce que, pour l'un des cristaux empilés qui se pénètrent, la face h^1 (100) s'est développée en hauteur, suivant l'axe principal, et pour l'autre composant, au contraire, s'est développée en largeur, c'est-à-dire parallèlement à la grande diagonale de la base; par suite, la face a^1 du premier, réduite à une petite surface triangulaire, érodée d'ailleurs, a disparu, alors que pour le second la même face a^1 recevait un développement analogue à celui de la face h^1 correspondante. Mais, en outre, le cristal supérieur, qui est un peu en recul sur l'inférieur, présente encore des macles polysynthétiques suivant g^1 , et les lamelles qui les constituent montrent les faces h^1 (100) et h^3 (210).

Ces deux cristaux sont peu brillants, malgré un brossage qui n'a pu leur donner qu'une nuance d'acier bruni.

En résumé, le cristal n° 1 se compose de la réunion des formes p (001), m (110), h^1 (100), h^3 (210), g^1 (010), e^1 (011), a^1 (101), b^1 (112) et $b^{\frac{1}{2}}$ (111).

Cristal n° 2 (fig. 2).

Le cristal que représente la figure 2 n'est qu'une partie, à peine le tiers, d'une macle dont les faces p sont dans le même plan; mais, les deux composants ayant conservé des faces m , j'ai mesuré l'angle de ces m , je veux dire l'hiatus qui existe entre elles, et j'ai trouvé comme moyenne $7^{\circ}22'$. Or, on sait que, pour deux individus adjacents, l'angle des faces m du prisme de l'un d'eux étant $86^{\circ}20'$, les axes horizontaux de deux cristaux, et des faces h^1 ou g^1 en regard, laissent un reste de $3^{\circ}40'$, et que le multiple de $3^{\circ}40'$ indique le nombre des répétitions. Il y a donc ici une macle simple (*zwilling*).

Je n'ai représenté que le plus intéressant des deux compo-

sants, le disposant de manière à montrer tout à la fois la zone mh^1g^1 , dont les faces sont éclatantes, ainsi que les zones $a'h^1$ et mb^1 . Je reproduis aussi exactement que possible les cristaux tels qu'ils sont, avec leurs imperfections, estimant que les dessins schématiques complets ne donnent qu'une idée vague de l'habitus des cristaux d'une espèce minérale d'une localité déterminée (¹).

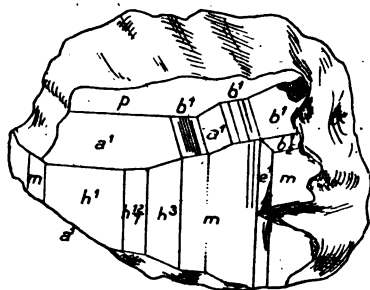


Fig. 2.

Ainsi qu'on le voit sur la figure 2 ci-contre, entre h^1 et h^3 existe une face, de 1^{mm} de largeur, brillante et portant quelques stries verticales très fines; c'est celle que j'avais signalée sur le cristal n° 3 de ma première Étude, et que j'avais notée $h^{\frac{23}{13}} = (18.5.0)$, bien que d'autres mesures m'eussent d'abord amené à la notation voisine $h^{\frac{12}{7}} = (19.5.0)$.

Ici, j'ai eu deux images; l'une d'elles me conduisait à adopter $h^{\frac{23}{13}}$; mais l'autre, meilleure, plus nette, m'a fait préférer $h^{\frac{12}{7}}$.

(¹) Des Cloizeaux a donné à ce sujet un modèle précieux dans les planches de son Mémoire sur le quartz.

Les incidences sont les suivantes :

	Calculées.	Observées.
m^1h	136.49'	136.51'
$mh^{\frac{1}{2}}$	150.44	150.42
mh^3	161.54	161.58
mm	93.30	93.40

Cristal n° 3 (fig. 3).

Le cristal n° 3 est un fragment de 18^{mm} d'épaisseur, offrant la réunion des formes p (001), m (110), h^1 (100), g^1 (010), e^1 (011), a^1 (101), b^1 (112), $b^{\frac{1}{2}}$ (111) et a_2 (121). Il paraît simple, autant qu'on peut en juger par l'aspect extérieur. La

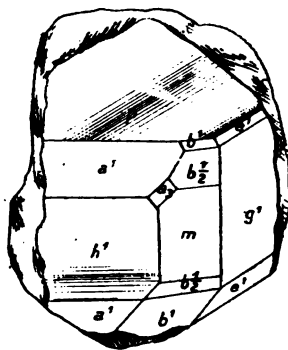


Fig. 3.

face p porte bien quelques rainures grossières plutôt que des stries proprement dites, et qu'on pourrait, n'était leur direction, tout aussi bien prendre pour des effets de corrosion ou même d'impressions laissées par d'autres cristaux. Les cristaux de bournonite de Pontgibaud portent assez fréquemment des empreintes en creux plus ou moins profondes sur

quelques-unes de leurs faces, ternes ou brillantes, p , b^1 , h^1 , etc.

La face h^1 présente quelques stries horizontales très fines; par contre, la zone mb^1 n'en offre pas; ces diverses faces sont larges et assez unies; néanmoins, les écarts des mesures et du calcul atteignent 1° et même au delà. Faut-il attribuer ces écarts aux perturbations signalées par M. Peck?

Observations relatives aux cristaux fluides;

Par M. G. FRIEDEL.

Dans le dernier numéro paru du *Bulletin*, M. Wallerant a rappelé ⁽¹⁾ un fait remarquable déjà signalé par Lehmann : une parcelle d'oléate d'ammoniaque, comprimée entre deux lames de verre, se trouble et ne donne plus qu'une polarisation d'agrégat. Mais une trépidation rétablit dans certaines plages l'homogénéité détruite, avec l'uniaxie du cristal original. L'écoulement de la substance ne modifie pas l'homogénéité et conserve les propriétés optiques. M. Wallerant conclut : « Il en résulte que les propriétés optiques ne sont nullement liées à la répartition réticulaire, mais sont dues à la particule cristalline, dont l'individualité se trouve ainsi établie. »

Les faits ne sont autres que ceux que Lehmann avait déjà observés et désignés sous les noms de « *erzwungene und spontane Homöotropie* » ⁽²⁾. Quoique constatés seulement

(1) *B. S. M.*, t. XXIX, p. 301.

(2) *Flüssige Kristalle*, p. 35-36.

d'une manière qualitative, ils paraissent assez bien établis. Par contre la conclusion, qui est également celle de Lehmann (¹), ne saurait être admise comme un résultat nécessaire de ces faits.

Examinons cette conclusion.

M. Wallerant ne pense évidemment pas pouvoir déduire de cette expérience la discontinuité de la matière. Il admet d'abord, et nous le ferons avec lui, cette hypothèse que la matière est composée de particules distantes séparées par des vides. La « particule cristalline » dont il croit l'indivisibilité établie par le fait nouveau, n'est donc pas une particule quelconque, car la conclusion n'aurait plus de sens. Ce ne peut être que ce qu'il a appelé la « particule complexe », c'est-à-dire un groupe de molécules défini par cette condition que, dans le cristal solide, il se répète périodiquement et parallèlement à lui-même. C'est la portion matérielle supposée de la période cristalline, de la maille de Bravais, du domaine complexe de Schœnflies, du motif cristallin. C'est la molécule cristallographique, le polyèdre moléculaire de Mallard.

Pour M. Wallerant, cette « particule complexe » se composait naguère d'un certain nombre de « particules fondamentales », composées elles-mêmes chacune d'un grand nombre de molécules chimiques. Les particules fondamentales étaient chacune dans un des domaines fondamentaux de Schœnflies. Il en résulte qu'elles étaient nécessairement dispersées dans toute la maille, et que par suite elles ne pouvaient former ce groupe appelé « particule complexe » supposé distinct et distant de ses voisins identiques. J'ai montré ailleurs cette contradiction. Aujourd'hui la particule fondamentale paraît abandonnée au profit de la particule complexe ; c'est à celle-

(¹) *Loc. cit.*, p. 231.

là, sans aucun doute, que s'applique maintenant le nom de « particule cristalline ».

On remarquera d'abord que l'existence de cette particule dans les cristaux proprement dits n'a pas besoin d'être démontrée. Elle est le résultat nécessaire de l'hypothèse réticulaire. Dire que la matière cristalline est périodique, c'est dire qu'il y a quelque chose en elle qui se répète périodiquement; avec l'hypothèse de la discontinuité, c'est dire qu'il y a un élément matériel, molécule ou groupe de molécules parallèles ou non, éparses ou non, qui se répète périodiquement. Ce ne peut donc être sur l'existence même de la « particule cristalline » que porte la conclusion de M. Wallerant. L'individualité qu'il attribue à cette particule est donc autre chose que l'existence. Le raisonnement esquissé par M. Wallerant nous montre d'ailleurs bien en quoi consiste cette individualité. Chaque « particule cristalline » est supposée former un petit groupe de molécules, un petit paquet de matière, bien distinct et distant de ses voisins; lorsque la répartition réticulaire existe, chacune occupe un nœud du réseau, et elles sont parallèles entre elles; mais, dans la déformation, cette répartition réticulaire est supposée détruite et malgré cela les particules, maintenant distribuées au hasard, restent intactes et persistent à se maintenir parallèles entre elles. Car, si elles ne restaient pas parallèles, l'anisotropie et les propriétés optiques ne subsisteraient pas. Tel est évidemment le seul sens que l'on puisse attribuer à la « particule cristalline individualisée » de M. Wallerant et à l'interprétation qu'il donne de l'observation de Lehmann.

Que nous enseigne l'expérience? Que la déformation du cristal mou peut détruire l'homogénéité et altérer les propriétés optiques comme elle le ferait pour un cristal solide quelconque; mais, que si l'on maintient la masse en mouvement léger, de façon à diminuer le frottement interne, ou si

l'on déforme le cristal avec précaution, l'homogénéité et les propriétés optiques peuvent se conserver, et tendent même une fois détruites à se rétablir. En d'autres termes nous n'avons, quant à présent, aucun moyen de distinguer un fragment de cristal ayant subi cette déformation spéciale d'un fragment du cristal initial.

Remarquons d'abord que, si l'on admet que la structure réticulaire n'existe plus dans le cristal homogène déformé, on reconnaît par là que cette structure ne peut se déduire de la seule homogénéité. J'ai montré ailleurs que la seule base possible de l'hypothèse réticulaire est en effet l'existence dans les cristaux des propriétés vectorielles discontinues et des lois qui les régissent. Quel fait exprimons-nous quand nous admettons dans le cristal d'oléate d'ammoniaque initial la structure réticulaire ? Uniquement ce fait qu'étant d'ailleurs homogène il a des faces, des arêtes, et des plans ou axes de macles, que nous supposons conformes à la loi d'Hauy par analogie, bien qu'à vrai dire cela n'ait pas été vérifié. La tension superficielle tend à arrondir ces plans et ces arêtes, mais ne masque pas leur existence : sans quoi nous n'aurions aucune raison d'admettre la structure réticulaire. Lorsque M. Wallerant affirme que dans le cristal déformé le réseau n'existe plus, il admet par là, sans le dire assurément, mais néanmoins d'une manière incontestable, que le cristal déformé n'a plus de propriétés vectorielles discontinues. Selon lui, les propriétés continues (optiques notamment) n'ont pas changé, mais les propriétés vectorielles discontinues ont disparu. Si l'observation nous montrait cela, la conclusion serait en un certain sens justifiée : le réseau aurait disparu après la déformation, et néanmoins il resterait quelque chose de constant déterminant la grandeur et l'orientation des propriétés continues. Ce quelque chose, on pourrait imaginer par exemple que ce sont les particules et leur orientation.

Mais quelle est l'observation qui puisse tendre à nous faire croire que la structure réticulaire n'existe plus dans le cristal déformé ? Aucune absolument.

D'abord il ne résulte nullement du fait seul de la déformation que la structure réticulaire ne persiste pas. Pour employer le langage moléculaire à la mode, dans le cristal initial il y a des forces qui tendent à établir et à maintenir les « particules cristallines » parallèles et équidistantes aux sommets d'un réseau. Ces forces ne disparaissent pas par le fait de la déformation. Nous connaissons dans les cristaux solides une foule de cas de glissements qui s'effectuent sans destruction de la structure. Rien de plus naturel que d'admettre que dans le cristal mou, fluide, un déplacement relatif des particules peut s'effectuer de façon que ces petits éléments, quels qu'ils soient, se substituent les uns aux autres et tendent toujours, en vertu des mêmes forces qui les maintiennent en place dans le cristal initial, à se replacer dans les mêmes positions et orientations relatives. Il devient alors complètement inutile d'imaginer une « particule cristalline individualisée ». Les éléments cristallins, *quels qu'ils soient*, tendent à se placer, grâce à la fluidité, dans la position et l'orientation qui correspondent à un état d'équilibre stable, comme ils le font en vertu des mêmes forces dans l'acte de la cristallisation. Et l'observation de Lehmann, comme l'immense majorité des faits de la cristallographie, ne nous apprend absolument rien sur la nature de ces éléments cristallins et leur distribution dans la maille.

Il est infiniment plus naturel, aussi bien pour qui attribue un sens concret au langage moléculaire que pour qui n'y voit qu'une image très grossière, d'admettre cette interprétation qui n'exige aucune espèce d'hypothèse quelconque sur la nature de la particule, ou plus généralement sur le motif cristallin, que d'admettre avec M. Wallerant que des parti-

cules, se déplaçant les unes par rapport aux autres, se distribuant dès lors au hasard, à des distances diverses, restent orientées sans qu'on puisse apercevoir aucune espèce de raison plausible à cette conservation des orientations.

D'autre part, en employant toujours pour la circonstance le même langage, on a divisé le motif cristallin en deux choses : la particule matérielle, dont on parle ; et le vide qui l'entoure, dont on ne parle pas. Dans l'interprétation de M. Wallerant, la déformation laisse intacte la particule et son orientation, et déforme les vides qui l'entourent. Quelle raison quelconque a-t-on de croire que cette déformation des vides interparticulaires n'agit pas sur les propriétés optiques ? Où est la théorie de la lumière qui justifie une telle hypothèse ? Pourquoi ne pas conclure tout aussi bien : si les propriétés optiques restent constantes, c'est donc que les « vides » aussi bien que les « pleins » de la matière ne changent pas ; c'est donc que la structure cristalline tout entière se conserve ? Une fois de plus, on voit ici un exemple des difficultés gratuites où conduit cette distinction, inutile quand elle n'est pas bien justifiée par des faits et limitée à ces faits, néfaste quand elle n'est même pas spécifiée, entre une particule matérielle qui, dans le cristal, devrait expliquer tout, et les vides supposés autour d'elle, que l'on néglige dans les raisonnements. Quand on raisonne sur les propriétés optiques spécialement, cela est plus inacceptable qu'en toute autre circonstance.

Ainsi, même quand nous sommes obligés bien malgré nous d'employer, pour discuter le cas présent, le langage moléculaire, l'interprétation de M. Wallerant est loin d'être la plus naturelle. A vrai dire, elle n'interprète rien. En distinguant dans le motif cristallin une « particule » et un « vide » (car on a beau ne pas parler du vide, l'un ne va pas sans l'autre),

la conservation des propriétés optiques nous engage bien plus à admettre la conservation, l'individualité, de cette particule *et de ce vide*, c'est-à-dire de la structure cristalline tout entière, plutôt que la conservation de cette seule particule, qui n'expliquerait rien si le vide se déforme.

Mais laissons maintenant les molécules, et parlons des faits. La structure réticulaire, c'est simplement l'expression de l'existence des propriétés vectorielles discontinues et des lois qui régissent leur direction. Ces propriétés existent-elles dans le cristal initial? Sans aucun doute. Il a donc la structure réticulaire. Existent-elles dans le cristal déformé? Là est toute la question. Ce n'est pas une question de théorie, mais de fait. Il est extrêmement peu vraisemblable *a priori* que le cristal déformé, que rien ne nous permet jusqu'ici de distinguer du cristal initial, qui a, d'après l'observation de Lehmann confirmée par M. Wallerant, exactement les mêmes propriétés vectorielles continues, diffère du cristal initial par la disparition des propriétés vectorielles discontinues. Si le fait était établi, l'interprétation de M. Wallerant n'en rendrait pas compte, car elle admet une déformation des vides interparticulaires qui n'explique pas la conservation des propriétés optiques, tant qu'on ne dit pas *comment* les particules sont supposées agir seules sur la lumière. Quoi qu'il en soit, il y aurait lieu alors de chercher quelque interprétation plus ou moins analogue à celle-là.

Mais le fait n'est nullement établi, bien au contraire. Lehmann a montré que, lorsque la flexion d'un cristal d'oléate d'ammoniaque dépasse une certaine courbure, il s'y produit brusquement une division en deux cristaux homogènes d'orientations différentes accolés par une surface plane, qui est bien probablement une macle. Il a fait voir également que dans la copulation des cristaux mous, qui naturellement ne se fait pas sans une déformation du même ordre que

celles auxquelles M. Wallerant fait appel, il se produit aussi des macles. Aucune mesure n'a été effectuée et les faits restent assez vaguement décrits. Mais il paraît bien probable, d'après cela, qu'il existe dans le cristal déformé aussi bien que dans le cristal initial des plans ou axes de macle, c'est-à-dire des propriétés vectorielles essentiellement discontinues. D'autre part, et cela est plus démonstratif, la réunion en un seul de deux cristaux mous parallèles, qui elle aussi ne se fait pas sans des déplacements dans la masse, donne encore un cristal homogène à arêtes parfaitement définies, c'est-à-dire pourvu de propriétés discontinues. Il y a donc tout lieu de croire que l'hypothèse qui, à défaut de faits, serait la plus simple et la plus vraisemblable, est déjà confirmée par les faits : le cristal déformé reste identique au cristal initial à tous les points de vue. Il conserve non seulement ses propriétés continues, mais ses propriétés discontinues ; il conserve donc sa structure tout entière. Le fait reste extrêmement curieux, mais il ne nous apprend rien de nouveau sur la structure cristalline. Il nous montre seulement que les forces qui tendent à établir et à maintenir cette structure sont capables de la conserver, et même de la rétablir après des déformations mécaniques quand la fluidité est assez grande. Il nous montre la structure cristalline comme un état d'équilibre très stable. Cela est fort intéressant, mais ne nous renseigne en rien sur cette structure elle-même.

Il importe d'insister encore sur un point : la question que M. Wallerant, après Lehmann et d'autres, a cru résoudre, non seulement n'est pas résolue, mais n'a pas de sens précis par elle-même. Mallard l'avait déjà abordée, mais dans un sens différent, à propos de la boracite. Il attribuait à cette espèce un réseau exactement cubique et une particule orthorhombique, et concluait de la biréfringence que les propriétés optiques ne dépendaient pas du réseau, mais de la particule.

En fait, rien ne nous assure que le réseau de la boracite soit rigoureusement cubique, ni même qu'il soit rigoureusement un multiple du réseau cubique. Tout ce qu'on peut en dire, c'est que les mesures, assez grossières, ne suffisent pas à le distinguer du réseau cubique ou d'un de ses multiples. Mais le cristal de boracite est orthorhombique, son motif a par conséquent cette symétrie; et cela est vrai du motif tout entier, non seulement de la particule explicitement imaginée, mais aussi bien du vide complémentaire implicitement supposé. La forme extérieure de ce motif, la maille, peut être cubique, exactement ou à peu près, peu importe. Du moment que le motif n'est qu'orthorhombique, les propriétés optiques sont biréfringentes. Ainsi modifiée, l'idée de Mallard est parfaitement juste: les propriétés optiques ne dépendent pas *seulement* du réseau, elles dépendent du motif tout entier; c'est-à-dire non seulement de sa forme (réseau), mais aussi de sa constitution interne (particule et vide, si l'on tient à la discontinuité).

Mais il y a une énorme différence entre cette idée et la suivante: les propriétés optiques ne dépendent *pas* du réseau, ni du vide intermoléculaire, mais seulement de la particule. La particule cristalline est quelque chose qui existe en soi-même, indépendamment du réseau, qui peut se déplacer, cesser d'être répartie en réseau comme l' imagine M. Wallerant pour les cristaux mous, et qui conserve alors ses propriétés optiques. Les propriétés optiques ne dépendent que d'elle, non du vide qui l'entoure, non, par suite, de la répartition de ces particules (à part le parallélisme qui, semble-t-il, reste toujours nécessaire). Cette idée-là n'a de sens que si l'on admet *d'abord* l'hypothèse de la « particule complexe », de la « particule cristalline individualisée ». Si l'on ne fait pas cette hypothèse qui, comme je l'ai démontré ailleurs, loin d'expliquer quoi que ce soit, ne fait qu'introduire

duire des difficultés et des contradictions, et en introduit en particulier bien inutilement dans la question présente, cette idée n'a plus aucune signification. Il suffit de *ne pas faire d'hypothèse a priori sur la structure du motif* pour que la chose saute aux yeux. Déformer le réseau sans déformer l'élément cristallin, c'est-à-dire le motif tout entier (et non le motif tronqué, sous prétexte de vide, d'une partie de ce qui lui appartient) n'a pas de sens, à moins de faire *a priori* l'hypothèse de la particule individualisée. Distinguer dans ce motif ce qui, de sa forme (maille) ou de sa substance même, détermine les propriétés optiques, n'a pas de sens tant qu'on n'a pas rattaché cette forme ou cette substance à une théorie optique précise. Veut-on faire l'hypothèse de la discontinuité? Soit. Alors l'élément cristallin, le motif cristallin, ne se compose pas du tout, comme on le dit, d'une ou plusieurs particules. Il se compose des particules et du vide environnant. Quand on déforme le cristal, si l'on ne déforme pas les particules, on déforme les vides, et cela revient exactement au même tant qu'on ne nous a donné aucun criterium pour distinguer les propriétés attribuées à la particule de celles attribuées au vide.

On voit combien on serait loin de compte en croyant la « particule cristalline individualisée » établie par l'observation de Lehmann. L'interprétation que M. Wallerant donne de cette observation n'a de sens, il est vrai, *qu'avec l'hypothèse préalable de cette particule*. Mais, si l'on se dispense de cette hypothèse inutile, l'interprétation tombe avec elle, et il s'en présente une autre infiniment plus claire, plus naturelle, plus simple, plus conforme aux faits; qui n'introduit pas la distinction illusoire et impossible entre les propriétés d'une particule matérielle hypothétique et non définie et celles d'un vide complémentaire également hypothétique; qui n'exige pas cette étrangeté de particules restant parallèles

entre elles, maintenues on ne sait par quoi, alors que leur répartition n'est plus régulière; qui enfin est seule d'accord avec la conservation des propriétés vectorielles discontinues après déformation. C'est celle que nous avons donnée ci-dessus: après la déformation du cristal mou, dans les circonstances favorables, la structure cristalline tout entière peut se conserver ou se rétablir; cela ne nous apprend rien, sur elle, si ce n'est qu'elle est un état d'équilibre stable qui, grâce à la fluidité, peut se rétablir après avoir été détruit, de même qu'il se maintient, malgré la fluidité, dans le cristal initial. L'existence seule des cristaux fluides nous en enseignait presque autant.

On ne s'étonne pas de voir des particules matérielles, éparses dans une solution ou dans une matière fondue, venir se ranger en des orientations et des positions d'équilibre déterminées pour constituer un cristal. Dès lors que l'existence de cristaux aussi fluides que ceux de l'oléate d'ammoniaque nous démontre que, pour la matière qui constitue ces cristaux, la structure cristalline est un état d'équilibre stable, qui se conserve, malgré la fluidité, même sous l'action de petites forces extérieures, il n'y a rien d'étonnant à ce que les particules, lorsqu'elles ont été dispersées, désorientées par un écrasement brutal du cristal, tendent à venir ensuite, tout comme elles le font dans une solution, reprendre la position d'équilibre stable.

Ce que devient le cristal *pendant* la déformation, nous n'en savons rien, et il est bien clair que la structure réticulaire n'est pas constamment respectée *pendant* cette déformation, de même qu'elle ne l'est pas *pendant* la déformation du spath dans la macle mécanique ou *pendant* les glissements de la stibine. Mais, de même que dans le spath ou la stibine, après la déformation, lorsque la masse s'est arrêtée à un nouvel état d'équilibre, la structure réticulaire se trouve rétablie, et

rien n'est plus conforme à tout ce que nous savons par ailleurs de la naissance et des déformations des cristaux solides ordinaires.

Pour qu'on fût obligé d'admettre que le cristal mou resté ou redevenu homogène après déformation n'a pas la structure réticulaire, il faudrait qu'il fût démontré qu'il n'a pas de propriétés vectorielles discontinues. Dans l'état actuel, le contraire paraît non seulement *a priori* beaucoup plus vraisemblable, mais déjà vérifié par un certain nombre de faits, tandis qu'aucun fait quelconque n'a été avancé en faveur de l'idée inverse. Il ne semble pas que ce cristal déformé diffère *en rien* du cristal initial.

En cela comme par leurs autres caractères les cristaux mous ou fluides, qui sont de véritables cristaux, diffèrent du tout au tout des liquides biréfringents de Lehmann, qui n'ont aucune des propriétés vraiment caractéristiques des cristaux.

Sur un nouveau gisement de pilolite (lassallite);

Par M. G. FRIEDEL.

J'ai reçu de M. de Brun, receveur des domaines à Fronton (Haute-Garonne), des échantillons d'un minéral trouvé l'an dernier à Can Pey, près Arles-sur-Tech (Pyrénées-Orientales), et qui a tous les caractères de celui que j'ai décrit autrefois à Miramont (Haute-Loire) sous le nom de lassallite. M. Carrière, ingénieur à Nîmes, qui a découvert le gisement, a bien voulu me communiquer, en même temps que de nouveaux échantillons, quelques renseignements que je transcris ci-dessous sur cette localité.

« J'ai découvert, m'écrit-il, au lieu dit, un filon de blende dans des calcaires rubanés qui reposent sur un gneiss glanduleux, calcaires que je suppose cambriens. La lassallite a été rencontrée au contact de la blende et du calcaire, et aussi dans des poches remplies de terres détritiques, poches qui m'ont paru incomplètement remplies de résidus (tachés de limonite et de manganèse) dus à l'attaque de la roche par les eaux acides. La lassallite est aussi incluse en minces feuilles dans la blende elle-même. On a trouvé environ 50^{kg} à 100^{kg} seulement de cette variété d'amiante... Je possède un petit échantillon de termiérîte (¹), mais je n'ai pas reconnu cette substance à Can Pey, où il n'y a près de la lassallite que des boues argileuses colorées par la limonite... J'ai recueilli non loin de ce gisement, dans les anciennes exploitations, dans le même calcaire, de la limonite, avec euprite et aurichalcite, suivant les déterminations de M. A. Lacroix et de M. de la Durandière. Can Pey a fourni aussi de beaux échantillons de smithsonite bien translucide... »

Le minéral de Can Pey est bien de la lassallite, ainsi que l'avait présumé M. de Brun. Il a l'aspect d'une sorte de carton fibreux ou de feutre tenace, d'un blanc de neige. Plongé dans l'eau, il en absorbe une grande quantité, gonfle et prend la consistance d'une viande. Toutefois le gonflement est moins exagéré que celui du minéral de Miramont. Ainsi humecté, il répand une très forte odeur d'argile, que je n'avais pas remarquée pour la lassallite de Miramont, mais qui, vérification faite, y est aussi accentuée.

Sous le microscope, la masse feutrée, humectée d'eau et écrasée entre deux lames de verre, se résout en fibres sans formes géométriques bien nettes, le plus souvent courtes,

(¹) A Miramont, la lassallite était accompagnée de termiérîte.

donnant des tons gris du premier ordre entre les nicols croisés, avec extinction longitudinale et signe d'allongement positif. Il y a identité complète avec le minéral de Miramont.

Chauffée à 100°, la matière perd de l'eau, mais en retient encore une forte proportion qui n'est chassée qu'à la calcination. Une fois calcinée, elle se transforme en une masse dure, blanche, très contractée, exactement comme le fait la lassallite. Enfin, l'analyse vient confirmer le diagnostic tiré des caractères précédents. J'ai refait à ce propos l'analyse du minéral de Miramont et donne ci-dessous les résultats obtenus pour les deux gisements. Ils sont, pour le minéral de Miramont, la moyenne de trois analyses, et de quatre pour celui de Can Pey. Colonne I, lassallite de Miramont. Colonne II, lassallite de Can Pey. Les résultats sont rapportés à la matière calcinée.

	I.	II.
Eau perdue à 100°	12,34	9,96
Perte supplémentaire à la calcination.	14,01	13,70
Silice	65,99	70,28
Alumine	21,34	21,64
Magnésie	9,47	7,56
Chaux	0,90	0,24
Oxyde ferreux ⁽¹⁾	1,67	0,38
	<u>99,37</u>	<u>100,10</u>

Il n'est pas douteux que les minéraux de Can Pey et de Miramont appartiennent à une même espèce, qui est un silicate d'alumine et de magnésie hydraté bien nettement différent de toute autre espèce connue et notamment très différent de l'amphibole. Toutefois il y a des différences assez importantes. Si l'indépendance de l'espèce se trouve très bien

(¹) Le fer est compté comme FeO, mais sans raison décisive. Il se peut qu'il soit en totalité ou en partie sous forme de Fe²O³.

confirmée par la découverte de M. Carrière, cependant la composition chimique du minéral reste assez énigmatique. Au surplus, cela est naturel pour un minéral asbestiforme, feutré, qui peut, malgré sa blancheur et son apparence de pureté, englober bien des matières étrangères. Dans la lassallite de Can Pey, on trouve disséminés de petits grains de quartz que le triage élimine difficilement, et qui expliquent la teneur plus élevée en silice, ainsi que les variations notables qu'elle a présentées d'une analyse à l'autre.

La formule que j'avais proposée autrefois pour la lassallite de Miramont, 12 SiO_2 , $2 \text{ Al}_2\text{O}_3$, 3 MgO , $8 \text{ H}_2\text{O}$, qui ne convenait qu'assez grossièrement à la première analyse, convient moins bien encore aux analyses nouvelles et correspond notamment à une teneur en silice trop forte et à une teneur en alumine trop faible. On peut admettre, en gros et provisoirement, la formule 5 SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , $\frac{7}{2} \text{ H}_2\text{O}$, qui correspond à 68 pour 100 de SiO_2 , 23 pour 100 de Al_2O_3 , 9 pour 100 de MgO et 14,2 pour 100 de H_2O , rapportés à la matière déshydratée.

M. A. Lacroix m'a signalé l'existence, qui m'avait échappé, d'un travail de Heddle (*Min. Mag.* 2. 206. 1879), où sont décrits dans divers gisements d'Ecosse des « lièges » et « cartons de montagne » qui sont des silicates d'alumine et de magnésie fortement hydratés voisins des minéraux de Miramont et de Can Pey. Le nom de lassallite doit être abandonné, celui de *pilolite*, créé par Heddle, suffisant actuellement pour désigner cette espèce, probablement unique et qu'il serait en tous cas prématuré de subdiviser. Il est probable que dans bien des cas la pilolite a été confondue à tort avec l'amphibole, et il serait à souhaiter que les possesseurs d'échantillons d'asbeste en fissent la révision, qui ne manquerait pas de conduire à une connaissance plus précise de l'espèce sur laquelle, après Heddle, nous attirons ici l'attention des minéralogistes.

**Sur le polymorphisme du chlorate de soude et
sur la structure de sa forme cubique,
douée de pouvoir rotatoire;**

Par M. H. COPAUX.

Le chlorate de soude pur se dépose de ses dissolutions aqueuses, évaporées ou refroidies, en cubes dépourvus de facettes et doués du pouvoir rotatoire.

Indépendamment de cette forme cubique, très stable, quelques auteurs ont décrit des formes biréfringentes, très instables et qu'on obtient irrégulièrement. D'après leurs observations réunies, elles seraient au nombre de trois, l'une orthorhombique, l'autre rhomboédrique, la troisième clinorhombique.

Je me propose de montrer d'abord qu'il existe bien en fait trois formes biréfringentes du chlorate de soude, mais qu'elles sont, l'une orthorhombique, isomorphe du nitrate de potassium, l'autre clinorhombique, isomorphe du nitrate de soude, et la troisième orthorhombique, quasi-cubique et beaucoup moins biréfringente que les deux autres.

J'examinerai ensuite comment la forme cubique, douée du pouvoir rotatoire, dérive de l'une des trois formes précédentes.

I.

Mallard, le premier, a fait connaître qu'en suivant au microscope l'évaporation d'une goutte de solution aqueuse très concentrée de chlorate de soude, on voit quelquefois apparaître des flèches cristallines, fortement biréfringentes, le long desquelles se groupent des pennes secondaires, faisant

avec l'axe principal des angles de 79° environ. En même temps, il se développe en certains points des cristaux isolés, offrant l'aspect de rhomboèdres très aplatis, très biréfringents.

Au bout de quelques minutes, la biréfringence cesse et les cristaux, isolés ou non, s'éteignent progressivement, en passant à la symétrie cubique.

L'angle plan du rhomboèdre étant de $102^{\circ},4$, le calcul donne pour l'angle dièdre une valeur de $105^{\circ},9$, d'où résulte, dit Mallard, cette conséquence remarquable que le chlorate de soude, sous sa forme rhomboédrique, est isomorphe du nitrate de soude ⁽¹⁾.

Le même résultat fut retrouvé par Retgers ⁽²⁾ et par M. Brauns ⁽³⁾; mais M. Brauns fit observer en outre que les premiers cristaux aperçus ne sont pas toujours ceux décrits par Mallard et qu'on obtient parfois des lamelles, probablement orthorhombiques. Ces lamelles, très biréfringentes, se convertissent en cubes, tantôt directement, tantôt indirectement, en passant par la forme dite rhomboédrique.

Enfin, quelques années après la publication de Mallard, M. Wyruboff avait constaté, en opérant non plus par évaporation, mais par fusion suivie de refroidissement, que le chlorate de soude, mélangé de quelques centièmes d'un chlorate ou d'un nitrate alcalin, donnait quelquefois des cristaux dont toutes les propriétés géométriques et optiques correspondaient à celles du chlorate de potasse, monoclinique ⁽⁴⁾.

Il semblait singulier que la symétrie clinorhombique

⁽¹⁾ MALLARD, *Bull. Soc. Minéral.*, t. VII, 1884, p. 349.

⁽²⁾ RETGERS, *Zeit. Krystall.*, t. XXIII, 1894, p. 266.

⁽³⁾ BRAUNS, *Jahrb. f. Mineral.*, 1898, p. 40.

⁽⁴⁾ WYRUBOFF, *Bull. Soc. Minéral.*, t. XIII, 1890, p. 227.

observée au point de fusion ne se retrouvât plus dans l'évaporation à basse température et qu'un même corps pût donner deux formes différentes, suivant que la cristallisation se faisait en présence ou en l'absence d'un solvant.

C'est pourquoi (à l'occasion d'autres recherches sur le pouvoir rotatoire du chlorate de soude) j'ai repris l'étude de ces formes biréfringentes.

J'ai pu reconnaître qu'en milieu alcoolique, leur stabilité était notablement plus grande et, par suite, leur préparation et leur examen plus faciles qu'en milieu aqueux. De cet examen, il résulte que la forme décrite par Mallard et par M. Brauns comme rhomboédrique est, en réalité, clinorhombique, identique à celle aperçue par M. Wyruboff à haute température.

On dissout dans l'alcool éthylique ou méthylique à 95° bouillant, du chlorate de soude ou, mieux, un mélange de chlorate avec 5 pour 100 de nitrate de soude, qui augmente la stabilité de la forme biréfringente. On laisse refroidir et, au bout de 24 heures, il se dépose un abondant précipité de cristaux cubiques. Le liquide surnageant contient (lorsqu'il est éthylique) environ 08,45 de chlorate et 08,25 de nitrate de soude pour 100^{cm}³.

α. Forme orthorhombique. — Si l'on évapore sur une lame de verre quelques gouttes de ce liquide, on voit généralement se former des aiguilles et aussi des petits rhombes isolés, très biréfringents, dont l'angle aigu est de 60° environ. En lumière convergente, apparaît une croix noire, légèrement disloquée.

Le corps est donc faiblement biaxe, tout à fait analogue au nitrate de potasse et, par conséquent, orthorhombique.

Ce sont là précisément les caractères que M. Brauns avait observés dans l'évaporation d'une goutte de solution aqueuse de bromate de soude, mais qu'il avait entrevus avec peine

dans le chlorate, dont la modification orthorhombique est beaucoup moins stable, en milieu purement aqueux.

β. *Forme clinorhombique.* — Au bout de fort peu de temps, les cristaux orthorhombiques se dissolvent partiellement sur leur contour, puis leur angle terminal se reforme, passe de 60° à 79° et l'on obtient la forme dite *rhomboédrique* par Mallard et M. Brauns.

La transformation est accompagnée d'une modification complète des propriétés optiques.

Examiné en lumière convergente, avec immersion, le corps est devenu biaxe ; ses axes très excentrés sont parallèles à la grande diagonale du rhombe, avec bissectrice négative ; leur écartement est de 27° .

Dans les cristaux plus épais, on rencontre, non plus un, mais deux systèmes d'axes rapprochés, situés symétriquement par rapport au plan normal à la base ; en un mot, les propriétés sont devenues celles du chlorate de potasse, dont la symétrie monoclinique est d'ailleurs très voisine de la symétrie ternaire.

γ. *Forme orthorhombique, quasi-cubique.* — J'ai obtenu cette forme peu biréfringente, non plus par évaporation d'une solution alcoolique, mais par cristallisation du chlorate au sein de l'eau, en présence de sulfate ou de perchlorate de soude.

Lorsqu'on évapore dans le vide, sur l'acide sulfurique, un mélange de 90 parties de chlorate et 10 parties de sulfate de soude en solution aqueuse, on obtient des cristaux tétraédriques, portant sur leurs arêtes de minces facettes du cube. Ils ont un aspect exactement semblable à celui du bromate de soude, tel qu'il se dépose de ses solutions aqueuses pures,

sont comme lui toujours biréfringents et renferment des traces indosables de sulfate.

Avec le perchlorate de soude, on obtient un résultat analogue, sauf que la proportion du perchlorate, sel très soluble, doit égaler celle du chlorate pour qu'il se forme des tétraèdres. A la teneur de 60 parties de chlorate pour 40 de perchlorate, l'évaporation donne des tétraèdres largement basés, portant les faces peu développées du tétraèdre inverse et nettement biréfringents. Quand la teneur en perchlorate s'abaisse à 20 pour 100, les cristaux deviennent parfaitement cubiques, mais leurs anomalies optiques persistent. Or, ces anomalies du sel *pur* sont exactement celles que M. Brauns a décrites pour les *mélanges* de chlorate et de bromate de soude et que M. Wallerant a confirmées depuis ⁽¹⁾ : une lame taillée parallèlement à une face octaédrique se présente en lumière parallèle comme un triangle divisé en trois secteurs qui éteignent parallèlement et normalement aux côtés ; une face parallèle au cube éteint suivant ses diagonales ; le plan des axes est parallèle aux arêtes.

Nous pouvons donc considérer ces cristaux biaxes, peu biréfringents, dont l'écartement des axes est voisin de 90°, comme des prismes orthorhombiques, quasi-cubiques.

II.

Des trois formes biaxes précédemment décrites, quelle est celle qui entre dans la structure de l'espèce cubique, douée du pouvoir rotatoire ?

On sait que Reusch, en 1869, a effectué une véritable syn-

(¹) WALLERANT, *Bull. Soc. Minéral.*, t. XXI, 1898, p. 224.

thèse du pouvoir rotatoire cristallin en superposant et croisant, à 60° ou à 45° , des lames très minces de mica biaxe et que Mallard a transformé l'observation de Reusch en une théorie générale : le pouvoir rotatoire des cristaux uniaxes doit être considéré, d'après lui, comme le résultat d'un empilement de lames biaxes très minces, croisées à 60° ou à 45° .

La généralisation de Mallard n'est pas une simple hypothèse ; elle a un fondement physique réel. En effet, les recherches de M. Wyruboff ont montré que la plupart des cristaux doués du pouvoir rotatoire présentent des anomalies optiques ; lorsqu'ils en sont dépourvus, il est toujours possible de mettre en évidence la forme biaxe qui est l'élément de leur structure, en les faisant cristalliser dans des conditions anormales et surtout en les engageant dans des mélanges isomorphes ⁽¹⁾. Dans le cas particulier des cristaux isotropes, comme le chlorate de soude, l'assimilation pure et simple aux croisements de Reusch devient insuffisante, puisqu'il s'agit d'expliquer comment le pouvoir rotatoire peut se manifester ici dans toutes les directions.

Mallard a cependant donné de cette difficulté une solution théorique que M. Wyruboff, dans le travail que je viens de citer, a reprise et interprétée comme il suit : la forme clinorhombique α représenterait le réseau réel du chlorate de soude, réseau qui, très voisin de la symétrie ternaire, peut engendrer, par des croisements autour de l'axe ternaire et de l'axe quaternaire, un corps pseudo-cubique, isotrope, et actif dans toutes les directions.

Ce que nous savons maintenant des formes biaxes du chlorate de soude ne nous permet plus d'accepter l'opinion précédente.

⁽¹⁾ WYRUBOFF, *Ann. Ch. Ph.*, 6^e série, t. VIII, 1886, p. 340.

Le pouvoir rotatoire d'un cristal est d'autant plus élevé que la biréfringence des individus biaxes qui le constituent est plus grande et, d'autre part, la solubilité est évidemment égale entre le cristal et les éléments de sa structure,

Or, les formes orthorhombique α et clinorhombique β ont une biréfringence considérable, tandis que le pouvoir rotatoire du chlorate de soude est faible. Leur solubilité est très supérieure à celle de l'espèce cubique; nous avons vu en effet que, pour passer à l'état clinorhombique, la forme orthorhombique subit une dissolution au moins partielle, preuve d'une solubilité supérieure. Le même phénomène s'observe également dans le passage de la forme clinorhombique à la forme cubique.

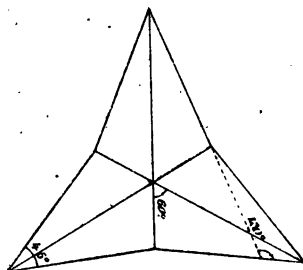
Enfin, pendant cette dernière transformation, on constate que les lames clinorhombiques, en perdant peu à peu leur biréfringence, se remplissent de cristaux isotropes; dont la position est quelconque par rapport aux contours primitifs. Il n'y a donc entre elles et la forme cubique aucun rapport géométrique direct.

Seule, par conséquent, la forme γ orthorhombique, peu biréfringente, semble capable de concourir à l'édification des cristaux cubiques, et l'observation suivante me paraît en donner une preuve.

Lorsqu'on dissout dans l'eau chaude 40 parties de chlorate, 40 de perchlorate et 20 de nitrate de soude, le chlorate de soude se dépose, par refroidissement, sous la forme de cristaux rayonnés, plus ou moins confus, et parfois d'étoiles à trois branches, très régulières, dont la plus grande dimension peut atteindre 1^{cm}. En lumière parallèle, ces étoiles se montrent constituées par six individus biréfringents, partagés en zones de différentes couleurs et éteignant deux à deux, parallèlement à la droite qui joint leurs sommets.

Leur surface est rugueuse et non réfléchissante; mais, sur

leurs contours, on retrouve justement, comme l'indique la figure, les angles de 45° et de 60° , seuls compatibles avec la théorie des croisements de Mallard.



J'ai voulu m'assurer par analyse que ces cristaux, formés dans une eau mère riche en sels étrangers, étaient bien constitués par du chlorate de soude pur, et la recherche quantitative du nitrate ne m'a donné, en effet, qu'une teneur de 0,5 pour 100. Néanmoins, si petite qu'en soit la dose, il est permis de se demander si le nitrate est inclus dans le cristal sous la forme de gouttelettes d'eau mère emprisonnées, ou bien si, régulièrement interposé à l'état solide, il fait partie intégrante de la structure. La première hypothèse me paraît de beaucoup la plus probable.

Quoi qu'il en soit, si nous considérons la forme γ orthorhombique et quasi-cubique, nous voyons qu'une rotation de 45° autour de l'axe quaternaire remplace la face octaédrique primitive par celle du dodécaèdre rhomboïdal. L'axe binaire devient ternaire, et l'on conçoit que, par cet arrangement trois fois répété autour des axes ternaires, on obtienne un assemblage isotrope et doué du pouvoir rotatoire dans toutes les directions.

Ces cristaux nous ont ainsi donné une représentation visible de l'enchevêtrement intime et invisible auquel le chlorate de soude cubique doit ses propriétés dissymétriques.

En résumé, le chlorate de soude possède trois formes : l'une orthorhombique, isomorphe du nitrate de potassium, l'autre clinorhombique, isomorphe du chlorate de potassium, la troisième, orthorhombique, quasi-cubique, dont les macles particulières donnent les cubes doués du pouvoir rotatoire.

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN N° 4.

Compte rendu de la Séance du 11 Avril 1907.

PRÉSIDENCE DE M. A. LACROIX, *Vice-Président.*

M. LE PRÉSIDENT annonce deux présentations.

M. WYROUBOFF décrit les propriétés d'un nitrate de cérium et de rubidium. Il a préparé, en outre, le silicotungstate d'indium. Ces recherches feront l'objet d'une Note qui sera publiée ultérieurement.

M. WALLERANT expose le résultat de ses travaux sur les mélanges isomorphes des sulfates hydratés (sulfates de cuivre et de cobalt).

M. BARDET fait une communication sur « un cristal de quartz présentant des inclusions intéressantes ».

M. A. LACROIX met sous les yeux de la Société une section d'un énorme cristal de tourmaline lithique de Madagascar, présentant une division en trois secteurs, individuellement constitués par des zones roses, vertes, etc., et offrant des plages à axes assez écartés, alors que d'autres sont parfaitement uniaxes.

Sur les propriétés optiques des mélanges isomorphes;

Par M. G. WYROUBOFF.

Dans un long Mémoire paru récemment ⁽¹⁾, M. G. Wulf rejette complètement la solution qui avait été donnée du problème des mélanges isomorphes et qui avait été unanimement acceptée. La question mérite d'être examinée de plus près, car il s'agit d'un point de théorie qui a une importance capitale pour nos connaissances sur la structure de la matière cristalline.

Senarmont, le premier, montra qu'entre les propriétés des mélanges et les propriétés des corps mélangés, il existait une certaine fonction, qu'on modifiait progressivement les phénomènes optiques au fur et à mesure qu'on ajoutait au mélange des quantités croissantes de l'un ou de l'autre corps. Restait à savoir si la fonction était continue et à en déterminer la forme, ce qui exigeait des mesures précises pour lesquelles on n'avait, jadis, que des instruments très imparfaits. C'est à Dufet que revient l'honneur d'avoir abordé le problème au point de vue quantitatif. Il a établi, en s'appuyant sur l'étude de mélanges de sulfates de magnésie et de nickel d'une part, et de sulfates de magnésie et de zinc de l'autre, que, pour les trois indices et, par conséquent, pour les angles des axes optiques, la fonction était continue et linéaire. Si par N on désigne un indice du mélange, par n et n' les indices des corps mélangés, par p et p' le nombre des molécules de chacun des corps, on a

$$N = pn + p'n'.$$

(¹) *Zeits. f. Kryst.*, t. XLII, p. 558.

Mallard était arrivé, quelques années auparavant, au même résultat et donnait la formule

$$\frac{1}{N^2} = \frac{p}{n^2} + \frac{p'}{n'^2}.$$

C'est encore une fonction continue et linéaire, avec cette différence qu'elle liait non plus les indices, mais les carrés des axes d'élasticité. Cette formule était purement théorique et avait à sa base une hypothèse qui ne paraissait nullement nécessaire.

Au moment où M. Dufet publiait ses travaux, j'avais étudié deux couples de substances isomorphes : $\text{SO}^4\text{K}^2 + \text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$ et $\text{SO}^4\text{K}^2 + \text{CrO}^4\text{K}^2$, en analysant les mélanges et mesurant les angles des axes optiques. Je remis mes chiffres à Mallard qui les calcula d'après sa formule : la courbe expérimentale se trouva assez voisine de la courbe théorique. La formule paraissait ainsi se confirmer expérimentalement; malheureusement cette confirmation était illusoire. Outre que la concordance était en somme peu satisfaisante, à quelques degrés près, il était facile de se convaincre que la formule de Dufet donnait exactement la même approximation.

Pour vérifier la formule de Mallard et la comparer à celle de Dufet, il fallait un autre exemple que celui que nous avions choisi et des mesures infiniment plus précises. Les trois sels sur lesquels j'avais opéré sont extrêmement peu biréfringents, la moindre erreur même sur le quatrième chiffre décimal donnait une erreur de 2° à 3° sur l'angle des axes. D'autre part, les anciennes déterminations des indices de réfraction que Mallard avait prises pour base de son calcul, n'étaient exactes qu'à 4 ou 5 unités du quatrième ordre décimal. Enfin, mes mesures de l'angle des axes n'étaient et ne pouvaient être que grossièrement approximatives. J'avais opéré sur des plaques assez minces, dont je retrouve

encore quelques-unes dans ma collection, les hyperboles étaient très larges et ne permettaient pas de bons pointés; de plus, j'avais opéré dans l'huile à des températures variables et avec un verre rouge dont la longueur d'onde était inconnue. Ces recherches, entreprises d'ailleurs dans un tout autre but que celui de vérifier une formule théorique, n'avaient aucune prétention à la précision.

Dans un travail de beaucoup le plus précis parmi ceux que nous possédons sur la question, M. Lavenir ⁽¹⁾ s'est proposé de décider entre les deux formules. Il a étudié les deux sels de Seignette et leurs mélanges aux différentes températures au moyen du réflectomètre; il a déterminé pour les deux sels et pour un certain nombre de leurs mélanges les trois indices avec une précision de une à deux unités du cinquième ordre décimal, et a abouti à cette conclusion que seule la formule de Dufet, à laquelle Mallard s'était d'ailleurs rallié plus tard, représente les observations avec une approximation qui ne dépasse pas les limites des erreurs expérimentales.

Il semblait donc acquis que les trois indices d'un mélange de sels isomorphes sont fonctions linéaires des indices des sels composants, la fonction étant la même pour les trois indices, et que les deux coefficients entrant dans la fonction représentent la fraction de molécule de chacun des sels mélangés.

Cette conclusion était confirmée par une série d'autres propriétés physiques : densité des solides ou des solutions, fusibilité, solubilité, etc., et se présentait comme une loi générale pour les corps isomorphes.

On peut, il est vrai, faire quelques réserves théoriques à une telle loi. Il importe de remarquer tout d'abord qu'elle ne saurait s'appliquer qu'à un groupe particulier de substances isomorphes, celles pour lesquelles le mélange se fait en

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XVII, 1894, p. 153.

toutes proportions; or, nous connaissons aujourd'hui un grand nombre de corps dont l'isomorphisme est incontestable et pourtant qui ne se mélangent qu'en certaines proportions ou même présentent des formes intermédiaires d'une tout autre symétrie et, par conséquent, de tout autres propriétés. Mais cette objection ne supprime pas la loi, elle en restreint seulement le domaine; au lieu d'être une loi générale pour les substances isomorphes, elle devient une loi particulière pour le cas où le mélange se fait en toutes proportions sans changement de symétrie.

On peut dire aussi que, si l'on admet la proportionnalité, la surface sur laquelle se distribueraient les indices des mélanges serait d'un degré supérieur à 2 et non plus un ellipsoïde. Mais l'ellipsoïde est une surface purement conventionnelle qui résulte de ce que, dans le développement de la fonction, nous nous arrêtons au premier terme au delà duquel nos moyens d'observation ne nous permettent pas d'aller. Il est possible, il est même très probable que toutes ces surfaces sont beaucoup plus complexes, très peu différentes entre elles et très peu différentes d'un ellipsoïde. En tous cas cette objection, si on l'admet comme valable, enlèverait à la loi son caractère rationnel, non son exactitude expérimentale. Elle resterait encore à l'état de loi empirique, comparable à la loi d'Haüy considérée en dehors de toute théorie générale de la structure cristalline.

Reste à savoir si la loi même, en tant que loi expérimentale restreinte à un cas particulier de corps isomorphe, est suffisamment établie. Une seule chose est présentement certaine : la loi se dégage avec d'autant plus de netteté que les données empruntées à l'observation sont plus précises. Douteuse avec les mesures de M. Fock qui ne sont que des moyennes de chiffres différant entre eux parfois d'une unité du troisième ordre décimal, douteuse aussi avec les

indices inexacts dont s'était servi Mallard et mes mesures d'axes insuffisamment précises, elle se manifeste avec évidence dans les recherches de Dufet et de M. Lavenir qui ont mesuré les indices avec soin à une ou deux unités près du cinquième ordre. On peut objecter, il est vrai, que ces recherches n'ont porté que sur un petit nombre de corps tous médiocrement biréfringents et dans lesquels les écarts, s'ils existent, sont difficilement appréciables. Il n'est donc pas sûr que la loi se vérifie par des substances très biréfringentes, et des expériences dans cette voie seraient très désirables.

Mais ce ne sont pas ces recherches que M. Wulf a entreprises pour contester l'existence d'une fonction linéaire. Il a choisi le plus mauvais de tous les exemples qu'on puisse imaginer, il a pris le couple $\text{SO}^4\text{K}^2 + \text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$, que j'avais moi-même choisi jadis bien à tort, et le couple $\text{SO}^4(\text{NH}^4)^2 + \text{SO}^4\text{Rb}^2$.

Dans ces trois sels, les différences entre le plus grand et le plus petit indice sont :

Sel de potasse	0,0040
Sel d'ammoniaque	0,0012
Sel de rubidium	0,0011

On voit immédiatement de quels soins extrêmes on doit s'entourer pour de semblables mesures d'indices et quelle précision exceptionnelle elles doivent avoir pour pouvoir aboutir à une loi quelconque.

Or, les chiffres que nous apporte M. G. Wulf sont, non seulement moins exacts que les chiffres qu'on trouve dans les travaux de Dufet et de M. Lavenir, mais ne méritent en eux-mêmes aucune confiance, comme il est facile de le montrer. Tous ces chiffres sont le résultat de mesures indirectes obtenues par des procédés compliqués, des jeux de

moyenne entre nombres fournis par des méthodes de valeur très inégale et par conséquent incomparables.

M. G. Wulf mesure, en effet, non les indices qui peuvent être obtenus par une seule lecture au réflectomètre, mais leurs différences au moyen de compensateurs de Babinet et de la vis micrométrique du microscope. Et ces différences elles-mêmes, il les obtient quelquefois par un calcul détourné.

Pour le sulfate de potasse il obtient $\gamma - \alpha = 0,00407$; il calcule $\gamma - \beta$ d'après l'angle trouvé par Iutton (qui avait trouvé $\gamma - \alpha = 0,038$) et obtient $0,00282$; enfin, il calcule $\beta - \alpha = 0,00126$ par la soustraction de $(\gamma - \alpha) - (\gamma - \beta)$. Il n'a donc *qu'une* donnée sans aucun contrôle possible.

Pour le sulfate d'ammoniaque, il prend pour les trois différences des moyennes de nombres obtenus par divers auteurs d'habileté très différente, par des procédés divers et variant entre eux de près de 10 pour 100. Le plus curieux est que, malgré ces origines diverses et ces énormes discordances, ses moyennes lui permettent de calculer un angle des axes qui ne diffère de l'angle observé que de $10'$, alors que les chiffres isolés des différents observateurs donnent des angles qui varient de 2° . Ce sont bien là les surprises inattendues que réserve parfois le petit jeu des moyennes.

Pour le sulfate de rubidium, M. G. Wulf a mesuré, par un procédé très compliqué, la différence $\beta - \alpha = 0,000152$ et au compensateur $\gamma - \alpha = 0,001105$; la troisième différence, $\gamma - \beta = 0,000953$, a été obtenue par soustraction. Mais tous ces chiffres n'ont aucune espèce de signification, car ils ne comportent aucun contrôle. M. Tutton a montré, en effet, que l'angle des axes optiques était essentiellement variable dans le sulfate de rubidium ($2E = 70^\circ - 44^\circ$), et par conséquent aussi la différence des indices. Un pareil sel semble donc devoir être systématiquement écarté; c'est au contraire celui dont le mélange avec le sulfate d'ammoniaque sert à M. G. Wulf de

meilleur argument contre l'existence de la fonction linéaire.

Avec de semblables données, si habile calculateur que l'on soit, on s'expose facilement à de graves mécomptes. M. G. Wulf y ajoute encore, comme à plaisir, de nouvelles causes d'erreur. Il calcule la composition chimique des mélanges, non par la calcination qui élimine le sulfate d'ammoniaque et donne aussi exactement que possible la teneur en sel de potassium ou de rubidium, mais d'après la densité dont il emprunte la valeur pour les sels purs aux travaux de Retgers et de Tutton, et qu'il détermine lui-même pour les mélanges, parfois comme pour les mélanges $\text{SO}^4\text{Rb}^2 + \text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$ qui demandaient la plus grande précision, avec 2 décimales seulement.

Quoi d'étonnant après cela qu'il arrive à deux conclusions totalement inadmissibles ?

En premier lieu, il trouve mes anciens chiffres pour l'angle des axes des mélanges $\text{SO}^4\text{K}^2 + \text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$ parfaitement exacts, alors qu'ils ne pouvaient être, dans les conditions où j'ai opéré jadis, que grossièrement approximatifs.

En second lieu, les nombres qu'il obtient aboutissent à ce résultat que les fonctions qui représentent les variations de $\gamma - \alpha$, $\beta - \alpha$ et $\gamma - \beta$ sont différentes et qu'elles ne sont même pas des fonctions continues puisqu'elles sont représentées par des lignes quelconques en zigzag. M. G. Wulf suppose que ces irrégularités tiennent à quelques modifications subies par l'éther dans chaque cas particulier, et exprime l'avis que seules les théories de la lumière qui prendraient en considération les réactions entre cet éther et les particules matérielles, pourraient résoudre la question des propriétés optiques des mélanges isomorphes.

Au lieu de rejeter ainsi la faute sur un hypothétique éther et sur ses changements d'état, plus hypothétiques encore, n'eût-il pas mieux valu s'inquiéter davantage de l'exactitude

de ses mesures et de n'en pas tirer des conclusions qu'elles ne comportent à aucun degré?

En tout cas, ce ne sont pas des données obtenues par des méthodes aussi fautives qui permettront de contester les résultats si précis qui ressortent des recherches de Dufet et de M. Lavenir. J'ajoute que, avant de nier ces résultats, il fallait nous montrer en quoi consistait l'erreur expérimentale qui les faussait. Nous avons donc le droit, jusqu'à nouvel ordre, de considérer la fonction qui relie les indices des mélanges isomorphes comme une fonction continue et linéaire.

**Inclusions de cristaux de quartz, de rutile
et de sidérose dans un quartz de l'Uruguay,**

Par le Dr G. BARDET.

Le cristal que j'ai l'honneur de présenter à la Société de Minéralogie a été rapporté de l'Uruguay par un prospecteur qui, suivant son dire, l'aurait ramassé dans le lit d'un torrent. En effet, le cristal a été roulé et ses faces ternies par frottement; pour bien voir l'intérieur du quartz, il a fallu faire polir deux faces opposées du prisme et deux faces de la pyramide. Sa hauteur est de 6^{cm} sur 4^{cm} environ de large, les faces du prisme sont dépolies et recouvertes d'une assez grande quantité d'oxyde de titane, reste d'une masse assez importante d'aiguilles de rutile qui, autrefois, devaient dépasser le cristal où elles pénétraient. Au contraire, les faces de la pyramide sont mieux conservées, plus claires, quoiqu'on puisse constater qu'elles ont dû, elles aussi, se trouver traversées par quelques aiguilles de rutile.

En examinant le cristal, plaçant devant soi la plus grande

face *p*, qui a été polie, on voit à l'intérieur une quantité considérable d'aiguilles de *rutile* de grosse dimension, dont la masse occupe toute la hauteur du cristal, prisme et pyramide. La disposition de ces aiguilles est celle de la *sagénite* ; elles forment plusieurs groupes et dans l'un d'eux on voit distinctement un petit cristal de *quartz bipyramidé* qui est traversé par quelques aiguilles de titane oxydé. Ce cristal est moins transparent que le gros cristal inclusant, il est nettement strié, sa longueur est d'environ 1^{mm},5 sur 1^{mm},5 à 2^{mm} de diamètre. En regardant attentivement, on aperçoit, dans un autre groupe de *rutile*, un second cristal de *quartz*, plus transparent que le premier et placé debout, tandis que celui-là est situé dans une position couchée, une des pointes ayant dû venir faire une très légère saillie au dehors du grand cristal inclusant, juste au niveau de l'arête de la pyramide, au-dessous d'une face *p*. On voit à cet endroit un léger éclat formé par la brisure de cette pointe.

Si maintenant on examine le cristal à travers les deux faces du prisme qui ont été polies, on constate qu'au milieu d'une grande quantité de *rutile* se trouvent d'autres cristaux de *quartz*, qui jadis émergeaient du cristal inclusant. Enfin, au bas du prisme, contre l'une des faces, celle qui est opposée à la grande face *p* de la pyramide, on peut voir un petit cristal rhomboédrique de couleur jaune brun, d'environ 6^{mm} de côté et qui semble bien devoir être de la *sidérose*.

Cet échantillon présente un réel intérêt, tant par sa rareté que par l'hypothèse qu'il permet de faire sur le mode de formation des divers éléments que l'on y trouve rassemblés. Jusqu'ici je n'ai rien trouvé de semblable dans les nombreux échantillons de *quartz* que j'ai pu voir. M. Pisani m'a affirmé n'avoir jamais observé d'inclusions de *quartz* dans *quartz* ; M. Lacroix se rappelle en avoir vu quelques types, mais la collection du Muséum n'en renferme pas, ce qui suffit à

montrer la rareté de cette inclusion. On connaît bien des quartz à fantômes, où les diverses zones de cristallisation sont rendues visibles par de légers dépôts de silice amorphe



Cristal de quartz de l'Uruguay, avec inclusions de petits cristaux
• de quartz de rutilite-sagénite et de sidérose.

ou de chlorite, mais ici il s'agit de l'inclusion de petits cristaux de quartz, merveilleusement formés, dans un gros cristal.

Généralement, dans de pareils assemblages, il est difficile de se trouver à même d'affirmer que ceux-ci sont postérieurs à ceux-là, comme formation, mais dans le cas présent il semble bien que l'on est en droit de supposer que, dans une veine filonienne, il a dû d'abord se former de la sagénite, avec un peu de sidérose et quelques cristaux de quartz, de petite dimension. Ensuite, une seconde venue d'eaux siliceuses a dû se faire, qui a amené l'englobement de partie de cette première cristallisation, dans un gros quartz. Il me paraît difficile de croire à la simultanéité des deux cristallisations, car une grande quantité des aiguilles de rutile faisaient saillie au dehors, comme on peut facilement s'en assurer aux traces, qui restent encore à l'extérieur du quartz inclusant, et, d'autre part, la présence du cristal de sidérose montre bien que l'on a affaire à la réunion très fréquente de l'oxyde de titane avec le quartz et le fer carbonaté.

Sur les indices de réfraction de quelques minéraux;

Par M. Paul GAUBERT.

Dans cette Note, je me propose de donner le résultat de quelques mesures d'indices de réfraction faites, à la lumière du sodium, avec le réfractomètre à réflexion totale, sur des plaques dont quelques-unes ont servi autrefois à Ed. Jannettaz pour l'étude de la conductibilité de la chaleur dans les

cristaux. Parmi les indices mesurés, il en est qui n'avaient pas encore été déterminés.

Heulandite. — La valeur de l'angle des axes optiques varie non seulement d'un échantillon à l'autre, mais aussi dans les différentes lames de clivage détachées du même cristal, et il en est de même, mais avec beaucoup moins d'intensité, des indices de réfraction. Il arrive parfois qu'une lame taillée suivant la face g^1 (010) donne au réflectomètre deux lignes de séparation très distinctes, correspondant l'une à la lame immédiatement en contact avec la demi-sphère, l'autre avec une lame de clivage située à une très faible distance en arrière de la première. Bien que la surface ait un poli parfait, la ligne de séparation de la partie claire et de la partie obscure est quelquefois peu nette à cause de la production de plusieurs images par ces lames de clivage. Cela tend à prouver qu'elles ne contiennent pas la même quantité d'eau ou qu'elles ne sont pas également orientées; la première supposition est conforme à la réalité dans beaucoup de cas.

MM. Michel Lévy et A. Lacroix ont donné les résultats suivants relatifs à la heulandite :

$$\begin{aligned} n_g &= 1,505, \\ n_m &= 1,499, \\ n_p &= 1,498, \\ 2V \text{ calculés} &= 39^{\circ}22'. \end{aligned}$$

La mesure d'une lame taillée parallèlement à g^1 sur un échantillon d'Islande m'a fourni les nombres suivants :

$$\begin{aligned} n_g &= 1,5070, \\ n_m &= 1,5003, \\ n_p &= 1,4998, \end{aligned}$$

d'où

$$2V = 31^{\circ}22'.$$

Densité : 2,15.

La même plaque, chauffée dans la glycérine à 200°, mesurée

aussitôt après son refroidissement, n'a pas fourni de bonnes mesures, la lame ne s'éteignant pas complètement entre les nicols croisés.

Le nombre 1,48 représente cependant la valeur moyenne des indices.

La densité est tombée de 2,15 à 2,05.

La même plaque a été chauffée de nouveau à 260° dans de la glycérine; la densité est alors de 2 et l'indice moyen de 1,472.

D'autres plaques ont été chauffées dans la glycérine bouillante et abandonnées plusieurs mois dans divers liquides.

L'une d'elles, dont les indices étaient primitivement

$$n_g = 1,5069, \quad n_m = 1,5008, \quad n_p = 1,4996,$$

plongée dans l'iodure de méthylène, a fourni de bonnes mesures :

$$n_g = 1,5078,$$

$$n_m = 1,5015,$$

$$n_p = 1,5001,$$

$$2V \text{ calculés} = 43^\circ 56'.$$

La densité, qui était primitivement de 2,15, a été trouvée égale à 2,19; elle est peut-être trop élevée, à cause de la petite quantité d'iodure de méthylène qui a pénétré dans les fentes dues au clivage.

Les indices de réfraction sont donc plus élevés que ceux de la plaque primitive.

Une plaque ayant les mêmes indices que le n° 2, chauffée à 230° et mesurée aussitôt après, a donné :

$$n_g = 1,4747,$$

$$n_m = 1,4733,$$

$$n_p = 1,4651.$$

La densité est alors de 2.

La même plaque, plongée ensuite dans du tétrabromure d'acétylène dont l'indice de réfraction était de 2,6, a fourni au

bout de cinq mois les résultats suivants :

$$\begin{aligned}n_g &= 1,5071, \\n_m &= 1,5009, \\n_p &= 1,4994.\end{aligned}$$

La densité est de 2,16.

J'ai fait encore beaucoup d'autres mesures sur des cristaux plongés pendant longtemps dans l'huile, l'essence de lavande, l'alcool, l'éther, etc., mais les résultats sont peu différents des précédents et il faut observer beaucoup de plaques pour en trouver une qui permette de faire de bonnes mesures, de sorte qu'il est difficile d'établir l'influence des substances remplaçant l'eau dans les cristaux de heulandite, sur la variation des indices de réfraction.

Syngénite. — M. Tschermak a trouvé pour la valeur de l'angle des axes optiques $2E = 44^{\circ}23'$ et M. Mügge $44^{\circ}40'$ à 20° . La valeur de n_g déterminée par ce dernier auteur est de 1,5181.

La mesure faite sur une plaque taillée perpendiculairement à la bissectrice aiguë et ayant servi autrefois à Ed. Jannettaz pour étudier la conductibilité de la chaleur m'a donné :

$$\begin{aligned}n_g &= 1,5183, \\n_m &= 1,5170, \\n_p &= 1,5000,\end{aligned}$$

d'où

$$2V = 26^{\circ}44'.$$

Érythrine. — Des Cloizeaux, dans son *Manuel de Minéralogie*, donne pour la valeur de l'angle des axes optiques

$$2H_j = 102^{\circ}1' \text{ à } 104^{\circ}31'.$$

Une lame de clivage d'un cristal provenant de Schneeberg (Saxe) a fourni d'assez bonnes mesures :

$$\begin{aligned}n_g &= 1,6986, \\n_m &= 1,6614, \\n_p &= 1,6263.\end{aligned}$$

Apatite de Priziac ⁽¹⁾. —

$$n_g = 1,6363,$$

$$n_p = 1,6332,$$

ce qui caractérise une apatite fluorée.

Gorceizite. — Ce minéral a été décrit dernièrement par M. Hussak ⁽²⁾. Sur un échantillon de la collection du Muséum, j'ai trouvé l'indice moyen égal à 1,6253.

Pharmacosidélite du Cornwall. —

$$n = 1,676.$$

Willémitte de Franklin Furnace (New Jersey). —

$$n_g = 1,7118,$$

$$n_p = 1,6931.$$

Béryllonite de Stoneham (Maine). — E. Dana a donné les nombres suivants (lumière du sodium) :

$$n_g = 1,5608,$$

$$n_m = 1,5579,$$

$$n_p = 1,5520,$$

$$2E = 121^{\circ}1'.$$

Une plaque taillée perpendiculairement à la bissectrice aiguë m'a donné les résultats suivants :

$$n_g = 1,5618,$$

$$n_m = 1,5579,$$

$$n_p = 1,5520.$$

(1) P.^e GAUBERT, *Bull. de la Soc. fr. de Min.*, t. XXV, 1902, p. 359.

(2) *Ibid.*, t. XXIX, 1906, p. 368.

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN n° 5.

Compte rendu de la Séance du 9 Mai 1907.

PRÉSIDENCE DE M. A. DE LAPPARENT.

M. LE PRÉSIDENT proclame membres de la Société :

M. Arthur HUTCHINSON, Pembroke College, à Cambridge;

M. L. DESBUISSONS, Chef du Service géographique au Ministère des Affaires étrangères, 10, rue Royale.

M. LE PRÉSIDENT annonce une présentation.

M. A. DE GRAMONT met sous les yeux de la Société quelques clichés de photographies spectrales (galène, galène argentifère).

M. WALLERANT expose la suite de ses travaux sur les sulfates isomorphes (sulfates de magnésium et de cobalt).

M. WYROUBOFF entretient la Société de la continuation de ses recherches sur les nitrates doubles des terres rares et, notamment, des sels que les nitrates de cérium et de lanthane

font avec le nitrate de césium. Contrairement à ce que l'on observe pour les sels correspondants d'ammonium et de rubidium, les sels de césium cristallisent avec 5^{mol} d'eau; ils ont cependant exactement la même forme cristalline, mais possèdent un ellipsoïde optique différent. Ils se distinguent aussi par la façon dont ils se comportent lorsqu'on les cristallise à haute température ou lorsqu'on les fond. Les sels d'ammonium et de rubidium donnent des composés cubiques renfermant moins de nitrates alcalins; les sels de césium persistent à toutes les températures et donnent par fusion un composé anhydre très biréfringent de même composition. Il faut donc en conclure que la constitution de ces sels n'est pas la même et que notamment l'eau n'y joue pas le même rôle.

**Les roches floniennes paléozoïques non granitiques
des Pyrénées;**

Par M. A. DE ROMEU.

AVANT-PROPOS.

Dans ce travail, nous avons adopté pour les minéraux la terminologie et les notations employées par M. A. Lacroix dans sa *Minéralogie de la France et de ses colonies*.

En ce qui concerne la détermination des feldspaths plagioclases, eu égard aux faibles dimensions de nos cristaux et à leur peu de pureté, nous avons en général appliqué les méthodes optiques de M. Michel Lévy. Dans quelques cas particuliers et aussi pour contrôler nos observations, nous avons eu recours au procédé de M. Fouqué basé, comme on le sait,

sur la valeur des angles d'extinction des sections perpendiculaires aux bissectrices.

Parmi toutes les méthodes indiquées par M. Michel Lévy, nous nous sommes servi presque exclusivement de celles qui s'appuient sur la considération d'une section voisine de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010), dans un individu présentant la macle de Carlsbad et celle de l'albite. C'est cette méthode qui nous paraît de l'application la plus simple, puisque de telles sections sont relativement abondantes, et aussi la plus sûre, puisque dans chaque cas on peut apprécier l'obliquité dans laquelle on se trouve sur le plan g^1 (010).

Cette méthode repose sur la connaissance des angles d'extinction, a et a' , de deux lamelles d'une même section, maclées suivant la loi de l'albite, et des angles d'extinction, b et b' , des lamelles conjuguées par rapport à la macle de Carlsbad (*fig. 1*). En considérant une section assez proche de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010), a devient très voisin de a' , et b de b' ; on peut par suite remplacer ces quatre nombres par les nombres approchés $a_1 = \frac{a + a'}{2}$, $b_1 = \frac{b + b'}{2}$.

En recherchant sur laquelle des sept épures stéréographiques de feldspaths, données par M. Michel Lévy (¹), les nombres a_1 et b_1 se disposent sur le diamètre vertical, symétriquement par rapport au centre (*fig. 2*), on a l'indication de la nature du feldspath.

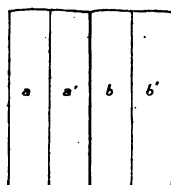
Ce mode d'opération est assez pénible; il ne donne en outre que des notions très imparfaites, si le feldspath cherché n'est pas précisément figuré par une des sept épures.

Pour faciliter cette recherche, M. Michel Lévy a récemment donné deux diagrammes permettant d'effectuer rapidement

(¹) *Étude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces*, 1894, Paris, Planches I à VII.

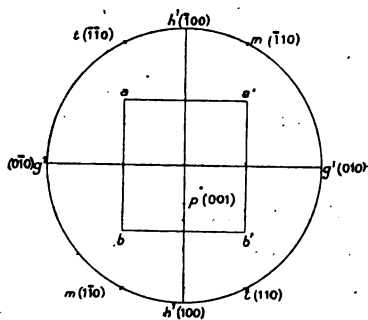
cette détermination ⁽¹⁾. Pour leur établissement, il s'est basé sur la méthode de Mallard, qui détermine l'angle d'extinction

Fig. 1.



d'une section de plagioclase d'après la considération des

Fig. 2.



angles d'extinction des sections correspondantes dans l'albite et dans l'anorthite.

Dans une nouvelle forme de diagramme, dont nous donnons plus loin la construction, nous n'avons pas voulu recourir à cette loi, encore discutée par quelques-uns ou tout au moins mal connue, de l'isomorphisme des plagio-

(1) *Étude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces* (3^e fascicule), 1904, Paris.

clasés, et à la relation algébrique qui exprime cette connaissance plus ou moins fidèlement. Nous avons préféré nous servir des épreuves données par M. Michel Lévy dans son premier fascicule ; elles ont pour la plupart été tracées d'après les données de Des Cloizeaux et de Fouqué, établies sur des types chimiques bien étudiés. Les nombres qui y figurent sont par suite beaucoup plus proches de l'observation que ceux qui pourraient être tirés de la notion de l'isomorphisme d'après la loi de Mallard.

Voici le procédé de construction de notre diagramme. Considérons une des sept épreuves stéréographiques des feldspaths de M. Michel Lévy, celle de l'andésine par exemple, et relevons les nombres, abstraction faite des signes, inscrits sur son diamètre vertical et conjugués symétriquement par rapport au centre (*fig. 3*). Prenons un de ces groupes de deux nombres qui correspondent à ceux que nous avons appelés plus haut a_1 et b_1 . Choisissons, pour continuer notre exemple, 16 et $6\frac{1}{2}$; portons le plus grand a_1 (16) en ordonnée et le plus petit b_1 ($6\frac{1}{2}$) en abscisse. Ce sont les coordonnées d'un point A (*fig. 4*) qui dans notre diagramme représentera une section du feldspath considéré (l'andésine dans notre exemple).

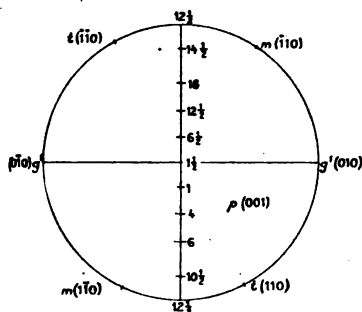
Effectuons la même opération pour les cinq autres groupes de nombres ; en faisant passer par les six points ainsi obtenus une courbe continue, nous aurons la représentation de tous les nombres d'extinction du feldspath dans la zone de symétrie perpendiculaire à $g^1(010)$.

Si nous faisons la même construction pour les six autres feldspaths, nous obtiendrons les sept courbes de la planche I (¹).

(¹) Le polygone de l'oligoclase à 15 pour 100 d'anorthite (Ab^4An^1), dont les dimensions sont très réduites, n'a pas été tracé ; il se confond pratiquement avec le point oo. Le polygone relatif à l'albite (2 pour 100 d'anorthite) a été tracé en pointillé.

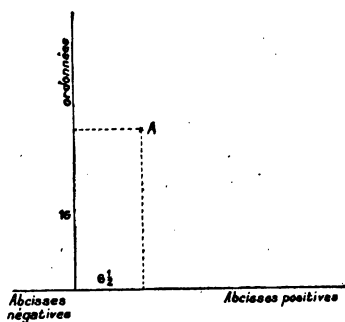
- Ceci posé, réciproquement, deux extinctions a_1 et b_1 d'une section perpendiculaire à $g'(010)$ d'un feldspath inconnu

Fig. 3.



étant déterminées, on cherchera la position du point qui lui correspond sur le diagramme et, par interpolation entre deux

Fig. 4.



courbes, on appréciera la teneur en anorthite de ce feldspath.

Notons qu'au lieu de tracer ces courbes, nous avons préféré relier les différents points par des droites ; dans chaque

cas particulier l'œil jugera la légère modification de position qu'il convient d'introduire.

Remarquons que, pour éviter que les polygones se recourent entre eux, nous n'avons pas totalement fait abstraction du signe des extinctions, comme nous l'avons dit plus haut. Nous avons porté en abscisses négatives, à gauche, les nombres qui, sur les épreuves de M. Michel Lévy, ont le même signe et par suite sont imprimés sur ces épreuves avec des caractères de même couleur. Ce cas se produit en particulier pour les nombres qui se trouvent au centre des épreuves; dans notre diagramme, ils se distribuent sur une droite à 45° dans l'angle des abscisses négatives et des ordonnées.

Les lignes des pôles distants de 20° en 20° du centre y sont tracées en rouge; elles sont grossièrement réparties comme les rayons d'un éventail et dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à la bissectrice des ordonnées et des abscisses positives où se trouvent les pôles à 90° du centre. Pour ne pas surcharger la figure, nous n'avons pas tracé ces lignes de pôles équidistants du centre entre l'albite et l'oligoclase à 15 pour 100 qui, s'éteignant en long, est évidemment représenté par le point de coordonnées 00. Il est à remarquer que les pôles de tous les feldspaths intermédiaires entre l'albite et l'oligoclase à 15 pour 100 sont représentés, très sensiblement tout au moins, par des points situés dans la surface limitée par le polygone de l'albite, d'une part, et par les deux côtés de l'angle droit des bissectrices des axes de coordonnées, d'autre part ⁽¹⁾.

(¹) Remarquons, incidemment, que la ligne des pôles, situés à 20° du centre, coupe l'axe des ordonnées en deux points, un point d'ordonnée 0 et un point d'ordonnée comprise entre 0 et 5. Ce fait déduit de la lecture des épreuves stéréographiques de M. Michel Lévy est en désaccord avec la loi de Mallard et les diagrammes XXII et XXIII de M. Michel Lévy qui l'expriment (*Étude sur la détermination des feldspaths*, 3^e fascicule, Paris, 1904).

On pourrait croire, d'après la considération d'un tel diagramme, que, deux nombres étant donnés, il existât toujours deux solutions au problème, puisque, d'après l'examen au microscope, il nous est en général impossible d'attribuer de signe aux extinctions. Mais, pour parer à cette difficulté, M. Michel Lévy a fait remarquer que, pour la plupart des pôles situés entre 0° et 10° du centre de ses épures stéréographiques (c'est-à-dire dans notre diagramme sur environ toute la partie représentée suivant des abscissés négatives), les sections ont une biréfringence très faible; les extinctions ne s'y mesurent pas nettement et ces sections sont par suite rejetées tout naturellement. Du reste, la considération du maximum d'extinction des feldspaths simplement maclés suivant la loi de l'albite, ainsi que ce que M. Michel Lévy appelle *la loi du plus grand nombre* viennent facilement résoudre cette indétermination.

Ceci posé, il n'y a plus d'ambiguïté qu'entre certaines sections de feldspaths situés entre un plagioclase un peu plus basique que l'andésine à 34 pour 100 et l'oligoclase s'éteignant en long d'une part, et ceux situés entre ce dernier plagioclase et l'albite d'autre part. Cette ambiguïté est réelle; elle n'est pas causée par la forme du diagramme, mais est inhérente à la méthode de détermination elle-même.

A notre avis, un des avantages de notre diagramme réside en ce que les extinctions sont portées toutes deux sur des échelles linéaires divisibles avec l'exactitude que l'on veut. Le point qui représente le feldspath est ainsi parfaitement fixé; on appréciera facilement, suivant sa position et suivant l'allure des polygones dans cette région, le degré d'exactitude que l'on peut espérer dans la détermination de ce feldspath. En effet, si l'on a effectué la lecture des extinctions avec une approximation de n° , on pourra, en traçant par la pensée sur le diagramme une circonférence de rayon propor-

tionnel à n , se rendre compte dans quelles limites peut varier la nature de ce feldspath. Suivant la position du feldspath sur le diagramme, sa détermination sera plus ou moins rigoureuse.

Ces estimations sont, à notre sens, beaucoup plus difficiles à faire si les échelles des extinctions sont tracées sur des courbes, dont le rapprochement et l'allure varient avec les différentes régions du diagramme; l'exactitude en certains points peut ainsi paraître très grande, tandis qu'en réalité elle est tout à fait vaine.

Dans notre diagramme, nous n'avons pas cherché à interpoler de nouveaux polygones entre les sept fournis. Nous estimons qu'ainsi disposé le diagramme suffit à tous les besoins pratiques du pétrographe; dans les cas les plus favorables, on arrivera ainsi à déterminer un feldspath à 10 à 15 pour 100 d'anorthite près; nous croyons que, sauf dans certains cas très rares, il est illusoire d'espérer obtenir une plus grande précision.

CHAPITRE I.

GÉNÉRALITÉS.

§ 1. — *Objet de cette étude.*

L'immense majorité des roches éruptives des Pyrénées appartiennent à deux groupes qui y forment des massifs de très inégale importance.

Ce sont, d'une part, le *granite*, d'âge paléozoïque, dont les affleurements s'étendent parfois sur plusieurs centaines de kilomètres carrés, et, d'autre part, les *ophites* (diabases à structure ophitique) et les *herzolites* (péridotites à bronzite,

diopside chromifère et spinelle) qui constituent, au milieu des terrains secondaires, des bosses de dimensions beaucoup plus restreintes. Ces roches ont de tout temps été la préoccupation des géologues pyrénéens et, grâce à de nombreuses études, quelques-unes toutes récentes, elles sont aujourd'hui parfaitement connues.

Les unes et les autres, ainsi que les terrains qui les englobent, sont traversées par des filons de nature très différente. Les filons qui parcourent soit les lherzolites, soit les sédiments secondaires voisins sont formés par des *ariégites* (roches essentiellement composées d'un ou plusieurs pyroxènes et de spinelle), des *hornblendites* (roches riches en hornblende et ne renfermant que peu ou pas d'olivine), des *péridotites à hornblende*, et aussi des *diorites* et des *gabbros amphiboliques*. Ces roches ont été décrites par M. A. Lacroix; entre autres choses, il a montré que leur étude permet d'éclaircir certains points communs de l'histoire des ophites et des lherzolites qui, sur le terrain, ont jusqu'ici été toujours trouvées sans contacts les unes avec les autres.

Les roches filoniennes traversant le granite et les terrains anciens se divisent en deux séries suivant la présence ou l'absence de feldspath alcalin. Les premières (*aplites*, *pegmatites*, *microgranites*, etc.), riches en orthose et en microcline, ont une composition qui les rapproche du granite; on les trouve, le plus souvent, au milieu de cette dernière roche ou dans les sédiments avoisinants, non loin du contact. Comme le granite lui-même, elles ont fourni matière à des travaux antérieurs.

Les secondes, au contraire, quoique très abondamment répandues dans certains points de la chaîne, ont été le plus souvent négligées par les auteurs. Elles sont dépourvues de feldspath alcalin ou n'en contiennent qu'en très faible proportion; moins acides que les précédentes, elles sont riches

en amphibole et en pyroxène ⁽¹⁾ et possèdent souvent une allure plus ou moins microlitique. Leur teinte plus foncée permet immédiatement de les distinguer sur le terrain des premières ; à leur inverse, elles sont aussi bien répandues dans le granite que dans toute l'étendue des terrains anciens. Ce sont ces *roches filoniennes paléozoïques non granitiques* qui formeront le sujet de notre étude ⁽²⁾.

§2. — Travaux antérieurs sur le sujet.

Si, comme nous venons de le dire, les géologues n'ont jusqu'ici accordé qu'une attention restreinte à ces roches, leur existence cependant ne leur a pas échappé ; à travers les descriptions des Pasumot, des Palassou, des Ramond, etc., il est en effet généralement facile de les reconnaître.

Il n'est pas dans notre intention de signaler toutes les publications dans les lignes desquelles nous avons cru retrouver

⁽¹⁾ Disons de suite que ce ne sont cependant pas des lamprophyres.

⁽²⁾ Pour être complets dans notre énumération des roches éruptives des Pyrénées, citons encore les roches suivantes qui n'ont qu'une extension excessivement restreinte.

Au Pic du Midi d'Ossau et dans sa région, on observe au milieu des terrains anciens de petits massifs d'une roche très altérée, dont il est difficile par suite de préciser la nature. L'examen d'une série de plaques minces, provenant pour la plus grande partie de la collection de M. A. Bresson, tend à nous faire supposer que nous nous trouvons en présence d'une *série dacitique*. Nous ne sommes pas éloignés de voir en ce point quelque chose d'équivalent aux roches laccolitiques de l'Esterel (Var) ou des Henry Mountains et West Elk Mountains (États-Unis).

Mentionnons que quelques auteurs attribuent un âge non paléozoïque à certains lambeaux de granite contenus dans le secondaire et le tertiaire.

Ajoutons enfin que plusieurs roches d'âge tertiaire existent en pointements peu étendus ou en filons dans le crétacé. Ce sont d'une part des *diabases ophitiques* et des *andésites* et, d'autre part, des *syénites néphéliniques* (Pouzac) et des *mônzonites néphéliniques* passant à une *diabase labradorique amphibolitique*.

les roches qui nous occupent. Une telle énumération serait fastidieuse : elle serait aussi oiseuse à cause de l'extrême brièveté avec laquelle les auteurs ont touché à la question et de la confusion qu'ils ont souvent faite entre ces roches et les roches d'autres séries pyrénéennes, en particulier les ophites.

Nous renvoyons à l'ouvrage de M. L. Carez le lecteur désireux de connaître la bibliographie complète de ce qui a été écrit sur ces roches ⁽¹⁾. Nous ne rappellerons que les travaux publiés dans ces dernières années. Nous le ferons en quelques mots; aussi bien leurs auteurs ne leur ont-ils généralement attribué dans leurs ouvrages qu'une place toute restreinte. Dans ces courtes analyses nous avons conservé aux roches les noms qui leur ont été attribués par chaque auteur; nous nous réservons, si besoin est, d'en discuter plus tard la dénomination.

M. J. CARALP ⁽²⁾ a signalé deux filonnets d'ophite dans les roches granitiques des environs de Saint-Girons (Ariège).

M. BEAUGEY ⁽³⁾ a étudié des filons de diorites, de diabases et de porphyrites dans les environs de Cauterets, au milieu du granite et des schistes dévonien ⁽⁴⁾.

M. STUART-MENTEATH ⁽⁵⁾ a signalé dans le paléozoïque des

⁽¹⁾ L. CAREZ, *La Géologie des Pyrénées françaises*, fasc. I, 1903; fasc. II, 1904, Paris. Dans ce dernier fascicule, voir Chapitre III (roches éruptives et minérales), § II (ophite et lherzolite), en particulier les analyses des auteurs suivants : Dieulafait, p. 1020; Virlet d'Aoust, p. 1020; Garrigou, p. 1022; C.-L. Frossard, p. 1022 et 1040; Magnan, p. 1023; M. A. Michel Lévy, p. 1024; E. Frossard, p. 1039.

⁽²⁾ *Études géologiques sur les hauts massifs des Pyrénées centrales (Haute-Ariège, Haute-Garonne, Val d'Aran)*; p. 510; Toulouse, 1888.

⁽³⁾ *Étude sur les sources minérales de Cauterets* (extrait des *Annales des Mines*, p. 12 et 13; Paris, 1892).

⁽⁴⁾ Plus récemment M. A. Bresson a attribué quelques-uns de ces sédiments au carbonifère.

⁽⁵⁾ Voir en particulier : *Sur l'âge du granite des Pyrénées occidentales* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 3^e série, t. XX, p. 345-349).

Pyrénées l'abondance de filons de roches qu'il attribue à l'ophite.

M. A. LACROIX a décrit deux porphyrites à faciès lamprophyrique, filoniennes, de natures très différentes du reste ; l'une dans le granite du col de la Couillade en Suc (massif du Pic des Trois-Seigneurs, Ariège), l'autre dans le granite des Gours Blancs (Hautes-Pyrénées) ⁽¹⁾ ; dans cette dernière région il a signalé aussi une porphyrite variolitique ⁽²⁾. En outre M. A. Lacroix a cité les nombreux filons de roches microlitiques (andésites et labradorites) qui parcourent les massifs de Néouvielle et du Pic du Midi de Bigorre (Hautes-Pyrénées) ⁽³⁾ et a opposé leur grande diffusion en certains points de la chaîne à leur absence presque totale d'autres régions ⁽⁴⁾.

M. H. ROSEBUSCH, dans sa *Mikroskopische Physiographie der Massigen Gesteine* ⁽⁵⁾, a parlé d'une roche de la vallée du Lys (Haute-Garonne) qu'il a rangée dans ses « Dioritporphyrit » et rapprochée de la « Vintlit » du Tyrol.

M. A. BRESSON a constaté le grand nombre de porphyrites, diabases labradoriques et labradorites qui se rencontrent sur la feuille de Luz de la carte au $\frac{1}{800000}$ ⁽⁶⁾ ; il a montré leur

Paris, 1893) ; *Sur les ophites des Pyrénées occidentales* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXVIII, p. 32-35 ; Paris, 1894.)

⁽¹⁾ *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. I, p. 676 ; Paris, 1893-1894.

⁽²⁾ *Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact* ; deuxième mémoire (*Bulletin des services de la Carte géologique de la France*, p. 43 ; Paris, 1900).

⁽³⁾ *Minéralogie de la France*, etc. ; t. I, p. 682 ; t. II, p. 691. *Les Pyrénées (roches cristallines)* (Extrait du livret-guide publié par le Comité d'organisation du VIII^e Congrès géologique international), p. 31 ; Paris, 1900.

⁽⁴⁾ *Le granite des Pyrénées*, etc. (2^e mémoire), p. 63.

⁽⁵⁾ Vol. II, 4^e édition, p. 562 ; Stuttgart, 1907.

⁽⁶⁾ *Études sur les formations anciennes des Hautes et Basses-Pyrénées (haute chaîne)* (*Bulletin des services de la Carte géologique de la France*, p. 173 ; Paris, 1903).

extension dans le massif granitique de Cauterêts ⁽¹⁾ et dans ceux de Néouvielle ⁽²⁾, et de Gavarnie, Gèdre et Héas ⁽³⁾, ainsi que l'action du dynamométamorphisme sur leurs filons ⁽⁴⁾.

Enfin ajoutons que nous avons nous-même étudié quelques andésites augitiques passant à la diabase et provenant des environs du Pic d'Arbizon ⁽⁵⁾.

§ 3. — *Particularités du sujet.*

Plusieurs raisons peuvent être données pour expliquer le peu d'attention accordé jusqu'ici à ces roches filoniennes paléozoïques non granitiques.

La première consiste en ce que les géologues ont commencé par étudier les parties les moins accidentées de la région. C'est surtout dans ces dernières années que les recherches de détail ont attaqué les hautes chaînes, spécialement dans les Hautes-Pyrénées, où nos roches abondent. De plus, ces recherches, ainsi que la plus grande partie de celles effectuées dans les Pyrénées, ont été faites surtout par des stratigraphes et des paléontologistes qui, récoltant par ailleurs une abondante moisson de faits intéressants, ne se sont que peu préoccupés des roches éruptives.

Cette raison n'est cependant pas la principale. La plus importante réside dans l'état de décomposition très avancée de la plupart des échantillons observés.

⁽¹⁾ *Id.*, p. 144.

⁽²⁾ *Id.*, p. 151.

⁽³⁾ *Id.*, p. 161.

⁽⁴⁾ *Id.*, p. 199.

⁽⁵⁾ *Les roches filoniennes basiques de la région de l'Arbizon (Hautes-Pyrénées)* (*Bulletin de la Société française de Minéralogie*, 1904, p. 87, Paris).

Sur le terrain on recueille le plus souvent des roches très altérées, où l'œil, au milieu d'une pâte verdâtre, ne distingue que rarement quelques cristaux eux-mêmes déchiquetés et décomposés. On conçoit que dans ces conditions les anciens géologues, avec leurs moyens d'observation limités à la loupe, n'aient pu faire autre chose que de les dénommer confusément, les confondant entre elles ou les attribuant même à d'autres groupes auxquels elles sont complètement étrangères. En particulier, même dans ces derniers temps, et nous l'avons fait remarquer plus haut, une partie de ces roches a été assimilée aux ophites ; nous nous efforcerons, dans les pages qui suivent, de démontrer que ces roches filoniennes peuvent s'en distinguer par plusieurs caractères.

Aujourd'hui que les méthodes micrographiques nous fournissent un instrument d'investigation d'une acuité incomparable, cette étude d'ensemble peut être abordée avec l'espoir de plus de fruit.

L'examen microscopique des préparations des roches recueillies n'est cependant pas, au premier abord, encourageant. Le nombre des échantillons relativement frais est encore plus faible que celui que laissait espérer l'examen microscopique ; la plupart des plaques minces sont parsemées de produits de décomposition.

L'étude d'une telle série démontre, s'il en était besoin encore, cette vérité qu'il ne faut pas essayer de dénommer et de classer une roche sur le vu d'un seul échantillon ou d'une seule coupe mince. On serait ainsi amené souvent à ranger, dans des divisions très séparées, deux de nos échantillons d'une même roche recueillis dans un même filon à quelques mètres l'un de l'autre, le premier relativement frais, le second très décomposé. Raison de plus quand les deux échantillons que l'on récolte ainsi sont tous deux com-

plètement pourris. Mais l'examen d'un grand nombre d'échantillons intermédiaires permet alors, dans ce dernier cas, de rapprocher notre roche de tel ou tel de nos types. Il est bien entendu que nous ne voulons pas parler ici de la différence de cristallinité qui s'établit souvent entre le centre et le bord d'un filon et qui vient encore compliquer le problème.

Quoi qu'il en soit de l'état de fraîcheur de ces roches, nous les avons fait soumettre à l'analyse chimique ⁽¹⁾. Les spécimens analysés ont été choisis parmi plusieurs centaines, déjà sélectionnés. Malgré cela, l'étude optique de quelques-uns montre que leur décomposition est assez avancée. Dans chaque cas, la perte au feu et la teneur en acide carbonique nous donneront une notion du degré d'altération de la roche.

Nous estimons que, même dans ces conditions défavorables, il vaut mieux se servir avec discernement des renseignements de l'analyse chimique que de se priver absolument des ressources de sa précieuse lumière.

§ 4. — *Plan de ce travail.*

Avant de pénétrer dans le vif de notre sujet, exposons brièvement le plan de notre travail.

Dans les quelques pages qui suivent, nous examinerons d'abord nos roches en tant que masses géologiques. Nous étudierons leur mode de gisement en général, leurs relations entre elles et avec les assises qui les contiennent, leur âge, leur influence sur la topographie, etc.

Nous entreprendrons ensuite l'étude pétrographique de nos matériaux. Il n'est pas dans notre intention de prendre un à un chacun de nos échantillons et de le décrire à part; une

⁽¹⁾ Toutes nos analyses ont été effectuées par M. Pisani.

telle besogne serait ingrate et peu fertile. Nous avons préféré rapporter nos roches à un certain nombre de types, que nous avons choisis parmi les plus répandus et les mieux caractérisés. Autour de ces types nous grouperons nos échantillons, en déterminant dans chaque cas ce qui distingue l'échantillon considéré du type établi, l'en rapproche ou l'en éloigne.

Ces types, nous les avons définis par leur composition minéralogique. Toutes nos roches possèdent, plus ou moins distinctement il est vrai, deux temps de consolidation. Elles sont composées de phénocristaux, formés en profondeur, et d'une pâte formée pendant l'ascension du magma.

Leurs éléments essentiels caractéristiques, ceux qui donnent leur physionomie propre à ces roches, sont au nombre de trois seulement. Ce sont : feldspath calcosodique, hornblende et augite.

Au premier temps, ces trois minéraux présentent des associations plus variées que dans le deuxième temps ; c'est, par suite, d'après la composition minéralogique du premier temps que nous avons établi nos types, que nous indiquons ci-dessous par un Tableau :

Hornblende seule.....	Type Riou-Maou
Hornblende + plagioclase.....	Type Vallée du Lys
Augite + plagioclase.....	} Type Lac Bleu Type Arbizon
Hornblende + augite + plagioclase..	
	Type Piquette deras Lids

Dans les deux premiers types la pâte est formée de plagioclase et de hornblende, tandis que dans les trois derniers la hornblende est remplacée par de l'augite.

Ces cinq divisions ne sont naturellement pas absolues, et nous avons observé la plupart des termes de passage des unes aux autres.

Le gros bataillon de nos roches est formé par les types Lac Bleu-Arbizon, que nous avons jugé nécessaire de distinguer, surtout à cause d'une question de structure.

Nous consacrerons un Chapitre à chacun de ces cinq types. Dans un paragraphe supplémentaire du Chapitre consacré au type Piquette deras Lids, nous ajouterons la description des quelques rares roches que nous n'avons pu faire rentrer dans les types précédents.

Dans un Chapitre suivant, nous aborderons l'étude chimique de l'ensemble de nos roches. Nous chercherons à déterminer les relations qui les relient soit entre elles, soit avec les autres roches éruptives des Pyrénées. Dans ce but, nous ferons un large usage de la nouvelle classification américaine quantitative ; nous userons d'elle, non pas en tant que classification elle-même, mais comme d'un outil, d'un réactif particulièrement précieux pour mettre en lumière les caractères chimiques des roches.

Dans un dernier Chapitre, nous indiquerons brièvement les raisons qui nous ont fait adopter dans notre travail la classification pétrographique française. Enfin, eu égard à la grande place occupée dans la Science par les Ouvrages de M. H. Rosenbusch, nous chercherons à fixer la position de ces roches dans sa systématique.

CHAPITRE II.

GÉOLOGIE.

§ 1. — *Mode de gisement de nos roches.*

Les roches que nous étudions dans ce Mémoire ne sont connues ni en massifs, ni en coulées ; elles sont exclusivement filoniennes, c'est là un caractère sur lequel il est nécessaire d'insister.

Nombre d'auteurs, nous l'avons dit plus haut, ont en effet confondu dans une désignation commune une partie d'entre elles avec les ophites ; cependant les ophites pyrénéennes typiques, pour lesquelles ce terme d'ophite a été créé, se trouvent au milieu des terrains secondaires et, à notre connaissance, elles n'y existent jamais à l'état de filons. Leurs caractéristiques structurelles et minéralogiques sont elles aussi très différentes, nous nous efforcerons de le démontrer dans un des Chapitres suivants. Il y a par suite une double raison de les distinguer les unes des autres.

De ce que nous ne connaissons pas de coulées de nos roches il ne s'ensuit pas que l'on doive nier leur venue au jour. Certains filons sont bien microlitiques et très vitreux sur toute leur épaisseur et de plus leurs éléments s'alignent dans une direction très nette de fluidalité ; on pourrait par suite croire qu'ils représentent un « moment » de la roche voisin de son épanchement. Mais à peu de distance, dans un filon de même puissance, au milieu des mêmes masses englobantes on constate que la cristallinité est presque totale et la structure diabasique. Ajoutons qu'il existe des filons où cette dernière structure est très nette au centre et la structure microlitique très franche sur les bords, avec, entre les deux, tous les passages graduels.

Il est donc bien difficile de déduire quelque chose de net de phénomènes aussi opposés ; sans les expliquer plus parfaitement, nous croyons que, dans chaque cas particulier, il faut en rechercher la raison dans le mode d'ascension plus ou moins lent ou rapide du magma.

§ 2. — *Terrains traversés.*

Nos roches se rencontrent dans les terrains anciens et dans le granite. Leurs filons y ont des épaisseurs variant de

quelques centimètres à une dizaine de mètres ; ces nombres sont des limites extrêmes et en moyenne l'épaisseur oscille entre 0^m,50 et 2^m.

Quand la topographie le permet on peut facilement les suivre de l'œil dans le granite ; leur couleur foncée se détache en effet assez nettement sur lui.

Dans les schistes, la distinction est beaucoup plus difficile ; il est parfois nécessaire de briser la roche éruptive et de regarder une cassure fraîche pour ne pas la confondre avec le terrain encaissant. La roche filonienne, en effet, sous l'influence des agents atmosphériques, se sépare en petits parallélépipèdes ; les surfaces extérieures de ces solides s'oxydant à l'air ressemblent aux plans de schistosité rubéfiés des schistes. Cette particularité explique que ces filons y sont souvent passés inaperçus.

Dans les calcaires, ces roches se présentent aussi en filons très nets ; cependant, ainsi que nous le verrons plus loin, c'est dans ces sédiments que, par suite du dynamométamorphisme, nous avons surtout constaté le déchiquettement des filons.

Nos filons se rencontrent dans le silurien, le dévonien et le carbonifère ainsi que dans le granite qui est d'âge post-dinantien. On possède ainsi une notion précise de leur âge inférieur.

Il est plus difficile de leur attribuer un âge supérieur. On ne les a pas, en effet, rencontrés jusqu'ici en galets dans le permien ⁽¹⁾.

Cependant, comme ces filons ne sont nulle part connus en dehors des terrains anciens, nous avons adopté pour titre de notre travail : « Les roches filoniennes paléozoïques non granitiques des Pyrénées ». Il était nécessaire de légitimer cette

(1) D'après M. A. Bresson, *in litteris*.

épithète « paléozoïque » qui veut donner une notion de l'âge de nos roches, mais qui veut surtout indiquer qu'elles se rencontrent exclusivement dans les terrains primaires.

Ces filons possèdent des directions généralement quelconques, si l'on considère l'étendue de la totalité de la chaîne. Toutefois, dans la plupart des champs de filons, ils adoptent des directions sensiblement parallèles. Plus loin, dans le Chapitre V, nous indiquons le détail de la disposition de ces filons dans les environs du Lac Bleu de Bigorre.

Le plus souvent on trouve indifféremment les filons au milieu des grands massifs granitiques et dans leur auréole de sédiments ⁽¹⁾. Il est difficile d'établir une différence dans leur quantité relative dans ces divers terrains où ils se présentent le plus souvent en groupes.

Par contre il y a une très grande variété dans la répartition de ces filons dans les diverses parties de la chaîne.

Ils sont presque complètement absents dans les massifs granitiques des Pyrénées-Orientales, de l'Aude et de l'Ariège et dans leur ceinture sédimentaire ; ils abondent au contraire dans les Hautes-Pyrénées et dans l'est des Basses-Pyrénées. C'est un fait que nous nous bornons à constater sans en pouvoir donner une explication plausible.

§ 3. — *Influence des actions orogéniques.*

Les filons de nos roches portent parfois l'empreinte des actions dynamiques qui se sont exercées sur les terrains qui les contiennent.

En de nombreux endroits, on constate qu'ils ont été tordus par les efforts de plissement ; on peut en voir des exemples

⁽¹⁾ Nous verrons qu'il y a une exception pour le petit massif du Pic du Midi de Bigorre, où le granite ne renferme pas ces roches filoniennes.

dans le massif du Vignemale, sur le front du grand glacier et sur la crête du Montferrat ⁽¹⁾.

Dans le massif du Pic du Midi de Bigorre, nous avons observé dans le calcaire des filons interrompus de distance en distance par étirement. On constate très nettement ce phénomène sur la rive ouest du lac Bleu, non loin des cabanes de Bareilles. L'exemple le plus typique est celui que nous avons trouvé au sommet du Pic du Midi, sur la crête, à 200^m à l'est de l'Observatoire; un filon d'une puissance de 0^m,10 à 0^m,60 suivant les points se trouve au milieu des calcaires à minéraux. Le filon ne se manifeste que par des lentilles égrenées les unes des autres de 30^m en 30^m en général; sur la surface du sol chacune de ces lentilles ne présente pas une superficie de plus de 2^{dm} à 3^{dm}. On reconnaît cependant très facilement le filon à sa couleur vert foncé qui tranche violemment au milieu de la roche englobante, très claire et très fraîche à cause de la haute altitude.

§ 4. — *Influence sur les formes du terrain.*

Les filons de ces roches, à cause de leur dureté et de leur imperméabilité, peuvent avoir une influence sur le mode du terrain.

Cependant ces influences ne se remarquent que rarement. D'habitude les filons sont désagrégés par les agents extérieurs en même temps que la roche voisine et il n'y a pas entre la roche sédimentaire et la roche éruptive de solution de continuité.

Toutefois dans la vallée du gave de Pau entre Luz et Pierrefitte, au-dessus du petit village de Chèze, non loin de Camparnas, on remarque un champ de filons, sensiblement

(1) Voir A. BRESSON, *loc. cit.*, p. 199.

parallèles au flanc de la montagne, présentant une direction d'environ 110° Est et un plongement presque vertical ; ces filons se trouvent dans les schistes gothlandiens facilement délitables. Par érosion, le sédiment qui recouvrait le côté du filon opposé à la montagne a été enlevé ; il ne reste plus maintenant que d'énormes gradins présentant parfois 2^m à 3^m de hauteur et déterminant de petites cascades au passage des ruisseaux.

De l'autre côté du gave, non loin de là, un peu au-dessous de Viscos, le phénomène est encore plus net. Les deux salbandes du filon presque vertical ont été enlevées par érosion ; il ne subsiste plus qu'un mur de 4^m à 5^m de hauteur et d'une épaisseur de 0^m, 60 comparable aux dykes des anciennes régions volcaniques.

Enfin ces filons jouent parfois le rôle de niveau imperméable et les eaux souterraines sourdent à leur contact avec le terrain perméable. Cette constatation est particulièrement utile pour l'étude du régime des eaux thermales et des travaux à entreprendre pour leur aménagement.

M. Beaughey (1) en a cité des exemples dans la région de Cauterets ; les sources de César, du Pré et des Œufs ont leur griffon au contact de la roche éruptive.

CHAPITRE III.

TYPE RIOU-MAOU.

§ 1. — Généralités.

Cette roche est une *labradorite amphibolique à hornblende* ; nous en prendrons le type dans un filon qui traverse la carrière de Riou-Maou, dans les Hautes-Pyrénées.

(1) *Loc. cit.*, p. 19.

Cette carrière, appelée aussi carrière du Pas de l'Echelle, est située aux environs de Luz et de Saint-Sauveur; elle se trouve sur le bord gauche de la route de Pierrefitte à Gavarnie, à quelques centaines de mètres après le pont Napoléon. Les calcaires blancs et les schistes noirs et très durs qui la constituent appartiennent, d'après M. A. Bresson, au dinantien. Ils succèdent aux schistes et quartzites à calamites, aux schistes et calcaires de Saint-Sauveur et de Cambasque et aux lydiennes à nodules phosphatés qui forment la base du carbonifère ⁽¹⁾.

Depuis longtemps cette carrière est célèbre dans les annales de la Minéralogie. Dès le XVIII^e siècle, Picot de Lapeyrouse, Dietrich et plus récemment Charpentier y ont signalé la présence de nombreux minéraux (graphite, niccolite, chloanthite, cobaltite, pyrite, heulandite, chabasie, laumontite, stilbite ⁽²⁾).

Ces auteurs, et ceux qui à leur suite ont parlé de la région, ont complètement passé sous silence la roche qui nous occupe. A cause de sa position bien en évidence dans la carrière elle ne saurait cependant avoir échappé à leur attention. Nous en avons trouvé en effet de nombreux échantillons dans les collections Philippe et Jaubert, recueillies dans la première moitié du siècle dernier et qui appartiennent actuellement au Muséum d'Histoire naturelle.

Nous avons observé cette roche dans la partie sud de la carrière, à quelques mètres de la route de Gavarnie; elle forme, au milieu des schistes noirs, un filon de 0^m,50 de puissance sensiblement dirigé Est-Ouest et d'une inclinaison voisine de la verticale.

⁽¹⁾ Voir A. BRESSON, *loc. cit.*, p. 95 et suivantes.

⁽²⁾ Voir A. LACROIX, *Minéralogie de la France et de ses Colonies*, t. II, p. 291, 295, 360, 557, 634, 635, etc.

Quelques échantillons de la collection Jaubert proviennent de la « pointe ouest du pic de Bergons ». A cause de la proximité de ces deux localités, de la similitude de leurs conditions géologiques et de l'identité des échantillons examinés, nous avons réuni les roches de ces deux gisements dans une même description.

§ 2. — *Description.*

A l'œil nu, la roche du Riou-Maou est caractérisée par la présence de nombreuses petites aiguilles de hornblende, noires et brillantes, au milieu d'une pâte gris terne, mouchetée seulement de-ci de-là de fines piqures de pyrite; sur certains échantillons on aperçoit en outre des taches d'un blanc grisâtre que nous verrons être formées par des minéraux de décomposition.

A. *Description microscopique.* — Au microscope la roche présente deux temps de consolidation très distincts. Les phénocristaux sont uniquement constitués par de la hornblende à formes géométriques; ils sont englobés par des microlites de ce même minéral et par des microlites plus petits, filiformes, d'un feldspath plagioclase basique accompagné d'un verre plus ou moins abondant (voir *fig. 1, Pl. II*).

La pyrite, en fines mouches, constitue le seul élément essentiel non caractéristique de la roche; elle ne manque dans aucun des échantillons.

Comme élément accidentel, il n'existe que de petites paillettes de biotite.

Les minéraux de décomposition sont, par contre, fort nombreux : quartz, trémolite, muscovite, zoïsite, chlorite, etc.

B. *Structure.* — La roche est donc hypocristalline, por-

phyrique et sa pâte présente la structure microlitique. Celle-ci n'est pas toujours facilement reconnaissable, car la plupart des échantillons sont très décomposés. Le quartz secondaire est en particulier répandu en très grande abondance; pénétrant entre les interstices des minéraux primaires et, par substitution, prenant parfois la place du verre fortement altéré, ce quartz masque l'état microlitique des minéraux du second temps et donne faussement à la roche un aspect microgrenu.

Cependant, quelques échantillons, particulièrement frais, permettent de constater sans ambiguïté la présence de microlites. C'est surtout dans ceux provenant des bords du filon qu'il est facile d'établir l'existence de cette structure; les minéraux de la pâte y sont, en effet, beaucoup plus petits que ceux recueillis dans la partie centrale. Il est naturel d'attribuer cette différence de grosseur des éléments à l'influence refroidissante de la paroi qui n'a pas permis le développement des cristaux.

C. *Caractères.* — La caractéristique la plus nette de notre roche réside en ce que c'est la hornblende qui constitue exclusivement les cristaux du premier temps; sauf dans des échantillons exceptionnels, nous n'y avons pas constaté la présence de phénocristaux de feldspath ou d'un autre minéral. Ce caractère permet, même à l'œil nu, de séparer ce type de la plupart des autres roches des Pyrénées. La pâte contient cependant en abondance un feldspath plagioclase basique; toutefois dans ce deuxième temps coexistent des microlites de hornblende presque aussi nombreux.

Certains échantillons sont particulièrement riches en hornblende du premier et du deuxième temps; ils ne semblent pas obéir à une répartition régulièrement ordonnée dans le filon. Ils nous fournissent un terme de passage aux

roches lamprophyriques qui, très nombreuses dans le massif central de la France, manquent presque totalement dans la région des Pyrénées. Dans les pages qui suivent nous aurons à revenir sur les roches lamprophyriques; les autres types de nos roches filoniennes nous fourniront avec elles d'autres termes de passage.

D'après ce que nous venons de voir et en appliquant les principes de la classification française, nous ferons de notre roche une *labradorite amphibolique à hornblende, mésocrate*.

D. *Minéraux constitutants*. — Examinons maintenant les caractères des différents minéraux constitutants.

La hornblende du premier temps se présente en très nombreux cristaux automorphes, à formes géométriques très nettes. Elle est constituée par de longues baguettes allongées parallèlement à $mm(110)(\bar{1}10)$ et souvent groupées entre elles parallèlement à cette même droite. Ces aiguilles atteignent une longueur de 5^{mm} à 10^{mm} et une largeur de $0^{mm},5$ à 1^{mm} ; elles ne sont pas brisées, ce qui montre que la roche n'a pas subi de déformations mécaniques intenses.

La macle la plus fréquente est celle suivant $h^1(100)$ qui groupe ensemble deux ou trois individus; on rencontre parfois la macle suivant $o^1(101)$.

Sur les sections perpendiculaires à $mm(110)(\bar{1}10)$, les clivages sont très nets; on peut y constater la présence des faces $m(110)$, $h^1(100)$, $g^1(010)$; par contre les cristaux ne sont jamais terminés suivant leur direction d'allongement.

En lumière naturelle la hornblende est d'une couleur variant du jaune brun au jaune pâle presque incolore. Sur les bords ou bien au centre des cristaux se trouvent des parties différemment teintées qui, en outre, n'agissent pas sur la lumière polarisée de la même façon que le reste du minéral; la biréfringence en est augmentée ou diminuée suivant

les cas. Cette variation dans les propriétés optiques est très probablement due à des différences dans la composition chimique du minéral; selon toute vraisemblance et d'après les expériences de M. Schneider et celles de M. Belowsky, les parties vertes doivent être moins riches en Fe^2O^3 que les parties de couleur jaune brun.

Le pléochroïsme assez intense affecte les teintes suivantes :

n_g = jaune brun, n_m = jaune paille, n_p = jaune pâle,

avec l'absorption

$$n_g > n_m > n_p.$$

Dans les facules :

n_g = vert pâle, n_m = jaune pâle, n_p = jaune pâle.

Enfin, dans la face $g^1(010)$, n_g fait avec l'arête $mm(110)(\bar{1}\bar{1}0)$ un angle de 20° .

Cette hornblende se trouve dans un état de très grande fraîcheur; à peine de-ci de-là peut-on y apercevoir quelques fines taches d'épidote.

La hornblende du deuxième temps possède les mêmes caractères que la précédente; elle forme des microlites allongés parallèlement à $mm(110)(\bar{1}\bar{1}0)$. Quoique très abondants, ces cristaux ne sont jamais enchevêtrés entre eux et avec les feldspaths qui constituent le reste des minéraux de la pâte; leur ensemble forme une sorte de feutrage à fibres grossièrement parallèles et dont la direction semble obéir à un certain sens de fluidalité.

Les microlites feldspathiques sont plus petits que les précédents; ils sont filiformes, allongés parallèlement à $pg^1(001)(010)$; c'est l'élément dominant du deuxième temps. Le plus souvent ces feldspaths sont très décomposés, et ce n'est qu'aux très forts grossissements qu'on peut y apercevoir des indices de la macle de Carlsbad, de celle de l'albite et de

celle du péricline. On ne peut y déterminer que rarement des angles d'extinction.

Cependant, un échantillon nous a présenté les deux premières macles dans une section voisine de la zone de symétrie perpendiculaire à $g^1(010)$ ⁽¹⁾. C'est une bytownite à 75 pour 100 d'anorthite. Quelques autres sections de la même zone nous ont donné des angles d'extinction ayant un maximum de 33 pour 100, ce qui vérifie la première détermination.

§ 3. — Composition chimique.

Dans ce paragraphe nous envisagerons la composition chimique de nos roches et les comparerons à des roches de composition chimique connue ou à des types décrits par différents auteurs.

Nous indiquons ci-dessous les analyses de :

- a. Labradorite amphibolique à hornblende, de Riou-Maou (par M. Pisani);
- b. *Dioritporphyr*, Suldenerferner, Ortler ⁽²⁾;
- c. *Ortlerit*, Hintere Gratspitze, Ortler ⁽³⁾.

	SiO ² .	Al ² O ³ .	Fe ² O ³ .	FeO.	MgO.	CaO.	Na ² O.	K ² O.	H ² O.	TiO ² .	P ² O ⁵ .	SOMME.
a...	56,51	17,90	0,08	5,72	5,58	8,64	2,72	0,82	0,50	0,86	0,15	99,48
b...	57,82	18,00	2,15	3,47	3,16	11,90	2,34	0,97	1,03	»	»	100,84
c...	48,95	14,80	8,42	10,23	2,08	7,40	3,23	2,97	1,76	»	»	99,84

Chimiquement, notre roche de Riou-Maou est très proche du *dioritporphyr* du Suldenerferner; elle en diffère seulement

⁽¹⁾ $a = 24^\circ$, $a' = 28^\circ$, $b = 40^\circ$, $b' = ?$.

⁽²⁾ G. STACHE u. C. VON JOHN, *Das Cevedale-Gebiet als Hauptdistrict alterer dioritischer Porphyrite (Palæophyrite)*, p. 341 (*Jahrbuch d. k. k. geol. Reichsanstalt*, Vienne, 1879).

⁽³⁾ *Id.*, p. 362.

par une richesse moindre en chaux et une abondance plus grande de magnésie. Cette teneur assez élevée en magnésie que nous constatons ici, nous la remarquerons dans toute la suite de notre série pyrénéenne; elle en sera une des caractéristiques les plus nettes. Minéralogiquement et structurellement, ces roches *a* et *b* sont assez éloignées l'une de l'autre; en effet, dans la roche tyrolienne le premier temps est feldspathique, tandis que le deuxième temps est grenu avec prédominance sur l'amphibole de ce dernier minéral.

Par contre, l'*ortlerit* de l'Hintere Gratspitze, dont M. von John a bien voulu nous communiquer un échantillon, est par sa composition minéralogique assez voisine de notre type; elle en diffère très sensiblement par la composition chimique qui est beaucoup moins acide et que nous donnons seulement pour mémoire. Le premier temps est presque uniquement composé par de la hornblende assez abondante; mais le deuxième temps est beaucoup plus feldspathique que dans la roche du Riou-Maou.

Parmi les autres roches de l'Ortler qui nous ont été envoyées par M. von John, c'est la *Nadelsuldenit* du Soy-Joch qui possède le plus d'affinités avec le type du Riou-Maou; nous n'en possédons malheureusement pas d'analyse. Quoique au premier temps les cristaux de hornblende y soient sensiblement plus abondants que dans la suldenite, MM. Stache et von John ⁽¹⁾ la considèrent comme une forme dérivée de cette dernière par absence de quartz. Pour nous, elle représente plutôt un terme de passage à la famille lamprophyrique.

Notre roche de Riou-Maou, nous la considérerons aussi comme un type de transition aux lamprophyres presque tota-

(¹) *Loc. cit.*, p. 397.

lement absents des Pyrénées, comme nous l'avons dit, tandis qu'ils abondent dans le Massif Central.

La roche avec laquelle minéralogiquement la nôtre est la plus voisine est une *dioritporphyrit* de Weissenstein (*Fichtelgebirge*), dont nous possédons un échantillon sans en connaître la composition chimique.

§ 4. — *Autres gisements dans les Pyrénées.*

Nous rattachons au type Riou-Maou une roche recueillie par M. A. Lacroix; elle se trouve en filons dans le *cirque de Lizet* aux environs de Cauterets. Les phénocristaux de hornblende sont plus nombreux, plus colorés que ceux examinés précédemment; ils sont ourlés d'une bordure plus brunâtre que le reste du minéral. Nous n'avons observé cette différence de coloration dans aucune autre des roches pyrénéennes dont nous nous occupons dans ce travail; par contre, nous l'avons constatée dans plusieurs roches similaires, en particulier dans la dioritporphyrite de *Weissenstein (Fichtelgebirge)* et dans la nadelsuldenite de *Soy-Joch*, dont nous venons de parler. Le deuxième temps est formé de hornblende et de plagioclase; ce dernier est complètement décomposé et son acidité est, par suite, impossible à apprécier.

M. Maurice Gourdon nous a communiqué une roche provenant du *port de la Pahul (Val d'Aran)* qui est une andésite amphibolique à hornblende ne contenant au deuxième temps que très peu de métasilicate; ce deuxième temps est presque exclusivement formé par de très nombreux et très fins microlites feldspathiques allongés et disposés à peu près parallèlement; ce sont des microlites d'oligoclase s'éteignant en long. Le peu de hornblende qui l'accompagne est pseudomorphosé en une épidote très biréfringente. La hornblende du premier temps, en nombreux cristaux à formes géométriques, est elle-

même presque complètement décomposée en la même épidote et plus rarement en chlorite.

Cette roche est bien moins basique que celle de Riou-Maou que nous avons vu être une labradorite. En plus, elle est beaucoup moins riche qu'elle en hornblende du deuxième temps; mais, quoique ainsi beaucoup moins leucocrate, nous n'hésitons pas à la ranger dans ce groupe à cause de l'abondance de la hornblende comme phénocrystal.

Nous rapprochons de même du type Riou-Maou une roche qui forme des filons non loin de Barèges dans le massif granitique de Néouvielle, dans la *vallée d'Aygue-Cluse* et dans le voisinage des *lacs de Caderolles*. Au premier temps, il ne nous est possible de placer que quelques très rares cristaux de hornblende, à peine plus gros que ceux de la pâte; par contre, le deuxième temps possède une structure absolument comparable à celle de la roche de Riou-Maou et est très riche en amphibole. Bien que le feldspath soit très décomposé, nous croyons devoir, à cause de ses petits angles d'extinction, l'attribuer à un feldspath acide. Ces roches, par leur richesse en silicate ferromagnésien (andésites amphiboliques mélano-crates), nous fournissent un nouveau stade intermédiaire entre notre labradorite amphibolique à hornblende mésocrate (roche type) et les roches lamprophyriques franches.

CHAPITRE IV.

TYPE VALLÉE DU LYS.

§ 1. — Généralités.

Notre roche est une *microdiorite à labrador et hornblende*. Pendant longtemps cette roche de la vallée du Lys, aux

environs de Bagnères-de-Luchon, dans la Haute-Garonne, qui figure dans nombre de collections pétrographiques, n'a été connue qu'à l'état de blocs roulés dans le lit de la rivière. Ce n'est que depuis peu qu'elle a été trouvée en place⁽¹⁾.

Elle a été décrite par M. Rosenbusch sous le nom de *vinilit* (hornblendedioritporphyrit)⁽²⁾.

Comme le type étudié dans le Chapitre précédent, celui-ci est très peu répandu dans les Pyrénées. D'après nos recherches personnelles et les collections qui nous ont été communiquées, nous croyons son extension géographique bornée au département de la Haute-Garonne et aux parties limitrophes de l'Espagne.

Le filon qui, dans la vallée du Lys, constitue le gisement de la roche, a une puissance de 5^m, 20 et est visible sur une longueur de 10^m à 12^m. Il se trouve sur la rive gauche de la vallée, à 250^m d'altitude au-dessus de la rivière, sur le flanc sud de la montagne portée sur la Carte d'état-major sous le nom de *Crête de Subescale* et au quartier dénommé *la Courbe*.

Le sentier forestier le traverse à quelques mètres du ravin d'où descend la petite cascade qui domine les dernières granges au fond de la vallée. Le filon est compris entre des schistes satinés à quartz blanc noduleux qui, d'après la vue

(1) J'avais essayé, il y a quelques années, de découvrir son gisement sur le flanc gauche de la vallée d'où les blocs semblent provenir. Mes recherches avaient été vaines à cause de l'état de la végétation qui recouvre partout le terrain d'un manteau continu.

En octobre 1904, l'administration forestière fit établir un sentier dans cette région de la montagne; les travaux effectués ayant mis à nu le sol, M. Raphaël Augusto père, le guide de Bagnères-de-Luchon, a pu déterminer l'emplacement exact de la roche. Plus tard, M. Maurice Gourdon a bien voulu, à mon intention, visiter ce gisement et me fournir sur lui les renseignements que je reproduis ci-dessus.

(2) *Mikroskopische Physiographie*, etc., Vol. II, p. 562.

panoramique donnée par M. Caralp ⁽¹⁾, peuvent être attribués au Cambrien ⁽²⁾.

Un autre gisement, découvert par M. Raphaël Angusto, se trouve à 1^{km} environ à l'ouest du précédent entre la Coume de Silat et la Coume de Nère; le filon y a 15^m de puissance et est visible sur une longueur de 4^m. Les échantillons de ces deux localités voisines sont identiques.

§ 2. — Description.

La roche a une teinte générale qui varie du gris au gris rougeâtre; elle lui est fournie par sa pâte. Des cristaux de hornblende, noirs, brillants, aciculaires, ayant jusqu'à 1^{cm} de plus grande dimension et 1^{mm} à 2^{mm} de largeur, la parsèment en nombres très variables; ils sont cependant moins abondants que dans la roche de Riou-Maou dont la couleur est aussi plus sombre. En outre, on aperçoit ici de nombreuses petites taches blanchâtres feldspathiques de 1^{mm} à 2^{mm} de diamètre, et qui manquent complètement au type précédent. On remarque aussi de très nombreuses mouches de pyrrhotine, et quelquefois, mais plus rarement, on constate la présence de grains de quartz.

Parfois, la roche présente dans sa pâte l'aspect du pétrosilex. Elle est alors presque entièrement dépourvue de grands cristaux; c'est, en général, sur les bords du filon que cette disposition se manifeste. Enfin, des parties grenues de 1^{mm} à 2^{mm} de diamètre apparaissent de-ci de-là et sont uniquement constituées par un agrégat de hornblende et de feldspath.

⁽¹⁾ *Études géologiques sur les hauts massifs des Pyrénées centrales*, Toulouse, 1888, p. 394.

⁽²⁾ M. Maurico Gourdon a recueilli dans ces schistes de l'andalousite, du mica testacé et de la ripidolite.

a. DESCRIPTION MICROSCOPIQUE. — En plaques minces, la roche montre des cristaux appartenant à deux stades de consolidation. Les phénocristaux les plus apparents, qui frappent de suite le regard par leur nombre et se détachent de la masse par leur taille, sont constitués par de la hornblende; ils sont parfaitement formés, allongés, en général, suivant l'axe parallèle à $h^1g^1(100)(010)$ (voir *fig. 2 et 3, Pl. III*).

En à peu près aussi grand nombre, on aperçoit les feldspaths plagioclases, ou plutôt leur squelette, presque complètement remplacé par des produits d'altération.

Enfin, quelques lamelles de biotite existent quelquefois; plus rarement on observe un grain de quartz en voie de résorption.

Au deuxième temps, tous ces minéraux reparaissent, mais avec des formes allongées, et ayant des tendances microlitiques. Le feldspath y est de beaucoup le minéral le plus abondant; la hornblende lui est tout à fait subordonnée et manque parfois presque complètement. Le quartz, très probablement d'origine secondaire, cimente les cristaux de la roche ou bien apparaît comme micropegmatite autour des feldspaths.

b. CARACTÈRES ET STRUCTURE. — La roche est porphyrique et, en général, holocristalline; cependant, parfois au second temps on peut apercevoir un reste de verre chloritisé. Il est probable que ce résidu vitreux doit être présent dans un plus grand nombre de roches qu'il ne semble au premier abord; il a dû être remplacé par le quartz secondaire qui réunit les minéraux de la pâte.

Ces derniers ont une structure presque microgrenue, mais cependant avec un allongement très net de tous les éléments; malgré l'existence possible de résidu vitreux ils n'ont jamais l'aspect des microlites nageant librement dans un verre ou alignés suivant certaines directions. Il y a là une dif-

férence très nette avec la roche de Riou-Maou; cette dernière a probablement eu un refroidissement beaucoup plus rapide.

c. MINÉRAUX CONSTITUANTS. — Les phénocristaux de hornblende sont allongés suivant $mm(110)(\bar{1}\bar{1}0)$ en fines baguettes; leurs sections transversales à l'allongement laissent voir des lignes de clivage à 120° et montrent les formes $m'(110)$, $h'(100)$, $g'(010)$. Souvent ils sont maclés à deux ou plusieurs individus suivant $h'(100)$.

Leur couleur est, en général, brun clair avec un polychroïsme très net :

n_g = brun clair, n_m = jaune brunâtre, n_p = jaune pâle,

d'où l'absorption

$$n_p > n_m > n_g.$$

Dans la face $g'(010)$, n_g fait un angle de 18° avec la trace de $mm(110)(\bar{1}\bar{1}0)$.

La hornblende est, en général, en parfait état de conservation. Cependant certains échantillons montrent des tendances de décomposition en calcite, sphène, biotite, minéraux qui se développent surtout suivant les clivages. Dans plusieurs cristaux la hornblende est complètement déchiquetée et pénétrée de ces divers minéraux; dans d'autres cas, la décomposition ne se fait que par places bien délimitées et laisse le minéral altéré en contact avec des parties du même minéral absolument intactes.

La hornblende de la pâte est toujours en microlites allongés suivant $mm(110)(\bar{1}\bar{1}0)$, parfois déchiquetés; les autres propriétés et caractères sont les mêmes que les précédents.

Les feldspaths du premier temps sont en individus automorphes, maclés suivant la loi de Carlsbad et celle de l'albite, et plus rarement suivant celle du péricline. Leur partie cen-

trale est fortement décomposée en damourite et en quartz. Ils ne laissent voir à leur périphérie qu'un mince liséré intact sur lequel on peut constater leur zonage.

Ce feldspath est en moyenne du labrador à 50 pour 100 d'anorthite, et son acidité sur les bords, dans une minime partie, peut atteindre celle de l'albite (¹).

Les plagioclases du deuxième temps sont tous allongés suivant pg^1 (001) (010); ils sont maclés suivant la loi de l'albite et parfois suivant celle de Carlsbad, beaucoup plus rarement suivant celle du péricline.

En général, ils sont très décomposés en séricite et par suite indéterminables. Cependant quelques échantillons plus frais nous ont permis de les attribuer à une andésine basique. Quelquefois ils sont remarquablement zonés et leur acidité va de 30 pour 100 d'anorthite au bord à 97 pour 100 au centre (²).

Nous n'avons pas constaté la présence de l'orthose.

Souvent ces feldspaths sont entourés d'une très fine micropegmatite qui ne se voit qu'aux forts grossissements; ce phénomène se produit surtout très nettement dans les plaques où nous avons constaté un zonage.

La biotite entre parfois comme phénocrystal dans la composition de la roche; mais elle n'y est alors qu'à l'état d'élément accessoire. Quand elle existe elle se trouve toujours en individus très déchiquetés et le long des clivages apparaissent de la magnétite et du sphène secondaire; elle est presque toujours complètement transformée en chlorite. La biotite du

(¹)	$a = 16^\circ$	$a' = ?$	$b = 3^\circ$	$b' = 1^\circ$;
	$a = 19^\circ$	$a' = 20^\circ$	$b = 2^\circ$	$b' = 3^\circ$.

(²) Ces derniers nombres ont été déterminés par la méthode des éclaircissements communs; nous ne leur attribuons pas une grande exactitude, à cause de la difficulté d'effectuer des mesures exactes par suite de la fugacité de l'extinction dans de si petits cristaux et aussi de la difficulté de débrouiller la correspondance des diverses parties maclées.

deuxième temps est en petits microlites déchiquetés aussi et partiellement pseudomorphisés en ce même minéral (voir fig. 1, Pl. III).

L'apatite se présente en petits cristaux allongés ou en très petits individus en inclusion dans les autres minéraux.

La pyrrhotine ne manque dans aucune des préparations.

Le quartz forme le fond de la roche comme minéral secondaire, ou, comme nous l'avons vu, se présente en micropegmatite. Quelques plaques montrent de gros cristaux de ce minéral en voie de résorption; nous le considérons dans ce cas comme une enclave énallogène de la roche.

Enfin, comme minéraux de décomposition, nous avons constaté la présence de calcite et de sphène; il faut y ajouter parfois un peu d'épidote.

§ 3. — *Composition chimique.*

Ci-dessous nous donnons trois analyses des roches du type de la vallée du Lys, et nous les faisons suivre de celles de roches voisines ou comparables pour des raisons diverses.

a. Microdiorite à hornblende et labrador, de la vallée du Lys (éboulis).

b. Microdiorite à hornblende et labrador, de la vallée du Lys (coume de Nère).

c. Microdiorite à hornblende et labrador, type vallée du Lys, du Serrat de Soupère, près Bagnères-de-Luchon, non en place.

d. *Biotitporphyrit*, de Wasserfall ⁽¹⁾.

e. *Quartzporphyrit*, de Suldenferner, Ortler ⁽²⁾.

⁽¹⁾ In STACHE et VON JOHN, *loc. cit.*, p. 400.

⁽²⁾ *Id.*, p. 403.

- f. *Suldenit*, de Schaubachhütte, Ortler ⁽¹⁾.
g. *Suldenit*, de Suldenferner, Ortler ⁽²⁾.
h. *Quarzporphyrit*, de Suldenferner, Ortler ⁽³⁾.
i. *Palaeoandésit*, Lienz ⁽³⁾.
j. *Microdiorite*, col du Chardonnet ⁽⁴⁾.
k. *Dioritporphyrit*, Vintlittypus, val Bondol ⁽⁵⁾.

	Si O ² .	Al ² O ³ .	Fe ² O ³ .	Fe O.	Mg O.	Ca O.	Na ² O.	K ² O.	H ² O.	Ti O ² .	P ² O ⁵ .	SOMME.
a....	59,00	15,50	tr.	6,20	5,95	4,08	2,54	3,08	2,00	1,03	0,18	99,58
b....	61,10	15,60	tr.	5,38	4,52	4,32	2,90	4,12	2,00	1,03	0,31	101,28
c....	63,55	15,60	tr.	5,10	3,65	4,49	2,55	2,92	1,50	0,91	0,19	100,46
d....	58,85	18,15	4,03	4,22	2,52	6,00	3,01	2,78	1,97	»	»	101,55
e....	61,80	16,70	3,28	3,89	1,87	6,60	3,97	2,08	0,09	»	»	100,48
f....	55,05	17,16	5,19	5,01	2,47	8,30	3,79	2,84	1,23	»	»	101,04
g....	54,99	16,32	6,52	5,81	1,56	6,80	3,87	1,61	2,47	»	»	99,86
h....	60,78	16,90	4,79	4,11	2,89	1,50	4,01	2,69	2,84	»	»	100,51
i....	59,95	17,35	1,44	5,59	2,88	6,75	3,30	2,08	1,42	»	»	100,76
j....	52,55	20,09	4,84	4,36	3,82	5,52	3,26	1,70	3,49	»	»	99,63
k....	56,78	13,34	1,07	9,92	4,25	9,37	2,89	1,68	0,86	»	»	101,16

Nos roches de la vallée du Lys, plus ou moins proches minéralogiquement des roches précédentes, sont pour la plupart plus acides et plus magnésiennes. En particulier, la microdiorite du col du Chardonnet ne contient que 52 de silice avec des quantités d'alumine et d'oxyde de fer beaucoup plus élevées; la dioritporphyrit, du val Bondol, du type vintlit, est un peu moins acide que nos microdiorites de la vallée du Lys, mais renferme deux fois plus d'oxydes de fer et de chaux.

(1) *Id.*, p. 395.

(2) *Id.*, p. 403.

(3) *Id.*, p. 400.

(4) P. TERNIER, *Études lithologiques dans les Alpes françaises (Bulletin de la Société géologique de France, 4^e série, t. I, 1901, p. 163)*.

(5) H. ROSENBUSCH, *Elemente der Gesteinslehre*, etc., p. 210.

§ 4. — *Autres gisements dans les Pyrénées.*

Les gisements de ce type ne sont pas répandus sur toute la chaîne des Pyrénées. Parmi les nombreux échantillons de filons examinés, ce n'est qu'une infime minorité qui est à rapprocher de la roche de la vallée du Lys. Comme nous l'avons dit, la plupart des localités où ce type apparaît nettement sont situées au voisinage de Bagnères-de-Luchon, dans la Haute-Garonne, et sur les parties frontalières de l'Espagne.

M. Maurice Gourdon nous a communiqué une roche recueillie par lui au *sommet du Céciré*, montagne sise à 2^{km} au N.-W. des gisements de la vallée du Lys. Nous la rapportons entièrement à ce même type. Comme lui, elle contient des grains de quartz où l'évidence de l'existence de ce minéral comme enclave est absolue; les cristaux arrondis ont été partiellement digérés et à leur périphérie se sont concentrés des métasilicates appartenant au deuxième temps.

Un peu différente de la roche type est celle que M. Maurice Gourdon a recueillie en blocs épars dans la *vallée de Larboust*, à l'entrée de la vallée d'Oueil, non loin de Saint-Aventin, au *Serrat de Soupère*. Ces blocs sont les restes des ruines d'une ancienne tour romaine et ont été retirés probablement du terrain glaciaire de la vallée. Selon toute vraisemblance ils sont, dans cette hypothèse, issus de l'ancien glacier d'Oo et proviennent d'un filon voisin des précédents.

Ils se distinguent des premiers, même à l'œil nu, par leur structure légèrement plus grossière, qui leur donne un aspect plus granitoïde, et par la prépondérance plus grande

des éléments colorés où s'ajoute en notable quantité la biotite. Les cristaux du premier temps sont plus développés, mieux formés que ceux de la vallée du Lys. Des cristaux de hornblende atteignent une dimension de 5^{mm}; ils sont prépondérants dans la roche (voir *fig. 4, Pl. III*).

Les feldspaths y sont subordonnés aux éléments colorés; ils sont très décomposés et laissent apparaître sur les bords un léger zonage qui se termine par une partie très acide. Des lamelles souvent légèrement contournées de biotite très polychroïque sont très abondantes.

Dans la pâte, au contraire, la hornblende et la biotite sont en moins grande abondance que les éléments blancs. Au feldspath grenu, sans formes allongées, s'ajoute une très grande quantité de quartz qui forme tout le fond de la roche et en cimente tous les éléments; quoique très abondant, ce quartz ne nous semble pas un élément primaire.

L'augite ne se présente que tout à fait accidentellement; nous n'en avons observé dans nos nombreuses préparations qu'un seul cristal appartenant au premier temps.

En somme, cette roche du Serrat de Soupère est une variété du type de la vallée du Lys plus riche en silicate ferromagnésien; cependant, par la nature de ses éléments feldspathiques, par la présence du quartz et par la presque totale absence de métasilicate au deuxième temps, elle est plus acide qu'elle. A cause de ce dernier point surtout, nous la considérons comme intermédiaire entre la roche typique de la vallée du Lys et les microdiorites acides (esterellite) de l'Esterel (Var).

A ce type du Serrat de Soupère se rattache une roche de la collection de M. Caralp, recueillie dans la *vallée de Larboust*.

Il existe aussi des types plus leucocrates que celui de la vallée du Lys. Le type extrême nous est offert par un filon

observable aux environs de Luchon, sur la route de la vallée d'Oueil, dans la *carrière de Cazarilh* ⁽¹⁾.

Cette roche est très fortement décomposée. Les minéraux des deux temps sont bien moins tranchés comme taille que dans les échantillons précédents. Au premier temps, elle ne présente guère que des feldspaths plagioclases très damouritisés; au deuxième temps, les plagioclases sont mélangés à une hornblende très pâle qui leur est subordonnée en quantité. La roche contient de nombreux cristaux de quartz en voie de résorption; ils sont étrangers au magma.

Un échantillon recueilli par M. Maurice Gourdon dans la *vallée de l'Esera* (Aragon), sur les flancs du massif des Monts-Maudits, relie cette dernière au type de la vallée du Lys. La hornblende y existe au premier et au second temps; mais elle y est toujours subordonnée au feldspath. A ces minéraux se joignent, au deuxième temps, une trame de quartz secondaire et un peu de biotite.

M. A. Lacroix a décrit ⁽²⁾ une roche dont la composition minéralogique qualitative est semblable à celle de la vallée du Lys; il l'a recueillie dans un filon de 1^m d'épaisseur entre le premier et le second des *Gourgs blancs* (Hautes-Pyrénées). Elle est beaucoup plus riche en silicates ferromagnésiens que notre type; elle forme un stade de passage entre lui et la roche lamprophyrique franche.

M. A. Lacroix a recueilli dans les schistes du Pégùère (Cauterets) une microdiorite à hornblende et plagioclase très

(1) H. PREISWERK [*Malchite u. Vintlite im Strona u. Sesiagneiss (Piémont)*, dans *Festschrift zum Siebzigsten Geburtstage von Harry Rosenbusch*, Stuttgart, 1906, p. 334] a indiqué ce gisement de Cazarilh; il en compare la roche, réunie à celles de la vallée du Lys, aux vintlites en général et en particulier à celle de Gaby (Piémont) dans le gneiss de Sesia.

(2) *Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact* (2^e Mémoire), etc., p. 43.

riche aussi en éléments amphiboliques. Il en est encore de même d'une microdiorite observée par M. A. Bresson au col du lac de Capdelong (massif de Néouvielle) ; dans cette dernière, qui est très cristalline, les deux temps sont à peine différenciés.

Peut-être à ces localités faut-il ajouter la *petite vallée du Lléou*, non loin de l'auberge du Chiroulet, dans le massif du Pic du Midi de Bigorre. En allant de la rive droite de ce val-lon au lac de Peyrelade, en passant par la dépression qui est au sud du Pic de Merlheu, nous avons recueilli une roche grisâtre à grands cristaux aciculaires d'amphibole. Au microscope on constate que c'est une microdiorite à feldspaths plagioclases très zonés, à longues aiguilles de hornblende verte et à assez nombreux cristaux de biotite. A cause de la végétation, nous n'en avons pu voir qu'un petit affleurement ; il est vraisemblable que nous avons affaire à un filon, mais il nous est cependant impossible d'affirmer que nous ne sommes pas en présence d'une roche métamorphique comme toutes celles qui se constatent aux environs. La couleur verte de la hornblende, que nous n'avons nulle part ailleurs trouvée dans nos roches filoniennes, donnerait un certain poids à cette dernière hypothèse. Cet échantillon est remarquable par les abondantes inclusions réticulées de rutile contenues dans le mica.

CHAPITRE V.

TYPE LAC BLEU.

§ 1. — Généralités.

C'est ce type de roches qui constitue l'immense majorité des filons des Pyrénées. Il est à remarquer cependant que, très commun dans les Hautes-Pyrénées et dans l'est des

Basses-Pyrénées, régions particulièrement riches en roches filoniennes non granitiques⁽¹⁾, il est par contre presque complètement absent du reste de la chaîne : je n'ai pu en retrouver l'analogue que dans quelques rares échantillons très altérés recueillis par M. Maurice Gourdon dans les environs de la Maladetta. Peut-être aussi faut-il lui attribuer les filons décrits par M. Caralp⁽²⁾ dans le granite de l'Ariège comme filons d'ophite.

Les anciens auteurs pyrénéens, Ramond, Palassou, Pasumot, Charpentier, n'ont pas manqué de signaler ce type, surtout dans la région du Pic du Midi de Bigorre; n'ayant à leur disposition que la loupe, ils n'ont pu le désigner que sous des dénominations confuses, mais qui ne permettent pas de se tromper sur l'identité de la roche dont ils ont voulu parler.

C'est cette région du Pic du Midi, et plus particulièrement les environs du Lac Bleu, que nous avons étudiés.

Les champs de filons de ce type s'y présentent avec un superbe développement; sur une superficie de 25^{km}², nous n'en avons en effet observé pas moins d'une soixantaine et il est évident qu'un grand nombre a encore échappé à nos investigations.

Un autre intérêt de cette région réside en ce que les filons se poursuivent dans des sédiments de nature très variée; il est par suite possible d'étudier facilement l'influence réciproque de la roche éruptive et des différents terrains. A l'inverse d'autres parties de la chaîne, nous n'en avons pas rencontré ici dans le granite.

(¹) Voir A. LACROIX, *Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact* (2^e Mémoire), etc., p. 63.

(²) *Études géologiques sur les hauts massifs des Pyrénées centrales*. p. 510. Toulouse, 1888.

C'est plus particulièrement entre la bordure ouest du Lac Bleu et les pentes est du Pic du Midi que nous avons effectué nos recherches.

Le massif du Pic du Midi est situé dans les Hautes-Pyrénées, à une dizaine de kilomètres au sud de Bagnères-de-Bigorre. Comme un bastion détaché, établi en avant de la partie élevée de la chaîne, il est placé au nord de l'important massif granitique de Néouvielle dont il est séparé par la vallée du Bastan, torrent dirigé Est-Ouest, qui passe à Barèges et se jette à Luz dans le gave de Pau.

Au Nord, ses abrupts sont limités par la vallée de Lesponne, dont les eaux vont rejoindre, à Campan, celles de l'Adour. Entre ces deux profondes vallées, le massif du Pic du Midi se dresse comme un haut plateau dont les crêtes qui en suivent la bordure ne s'abaissent guère au-dessous de 2400^m. Entre ces crêtes s'étend, dans la partie occidentale, une dépression allongée Est-Ouest, dont les eaux, rassemblées dans le Lac Bleu, s'échappent en cascades dans la vallée de Lesponne. La partie orientale est constituée par la masse proprement dite du Pic du Midi sur laquelle le ruissellement s'éparpille dans toutes les directions.

Géologiquement, ce massif est constitué par une ellipse granitique au grand axe allongé Est-Ouest, d'une longueur de 2^{km} à 3^{km} et d'une largeur de 1^{km},5, entourée par des sédiments métamorphisés appartenant au dévonien et développée surtout dans le Sud. Dans cette même partie Sud, le granite est séparé du dévonien par une mince bande d'ordovicien et de gothlandien ⁽¹⁾.

Le granite porte l'empreinte d'un dynamisme très puissant qui a imposé à ses éléments un certain alignement. Il est

(1) Pour ce qui concerne la géologie du massif du Pic du Midi, voir A. BRESSON, *loc. cit.*, p. 37, 45, 163, 184, 225.

par suite difficile de le séparer nettement des sédiments qu'il a métamorphisés par injection. Ce sont les schistes ordoviciens qui ont subi les modifications les plus intenses; ils sont transformés en leptynolites absolument gneissiques. On conçoit par suite très bien l'opinion accréditée chez les anciens auteurs, qui attribuaient ces terrains à la série cristallophyllienne. L'influence de nombreux filons de roches granitiques (aplites, aplites à tourmaline, pegmatites, etc.) est encore venue se superposer à celle du granite proprement dit ⁽¹⁾.

Le gothlandien est représenté par les schistes carburés pyriteux d'un facies si constant dans toute l'étendue des Pyrénées; souvent, par réduction, ils sont transformés en oxyde de fer.

Le dévonien inférieur possède la forme schisteuse qui est le caractère de la bande nord de cet étage dans la région (bande du Valentin de M. A. Bresson). Il est transformé, non en leptynolites, comme l'ordovicien, mais en schistes maclifères qui occupent une grande étendue dans tout le massif, et en particulier constituent le sommet du Pic du Midi. Il est intéressant de noter la coexistence des deux modes principaux de métamorphisme exomorphe du granite.

Le dévonien moyen et le dévonien supérieur sont formés par une masse de calcaire qui souvent se trouve intercalée en écaillés au milieu du dévonien inférieur. Il est fréquemment transformé en cipolins et modifié parfois d'une façon très intensive en cornéennes grenatifères, épidotifères, etc.

Enfin, M. A. Bresson considère ce massif comme un pli anticlinal. Les couches septentrionales sont inclinées vers le Sud, elles se redressent lorsqu'on s'éloigne de la bordure

⁽¹⁾ Nous nous réservons de publier plus tard nos observations sur le granite et le métamorphisme de cette région.

nord et s'inclinent ensuite dans l'autre sens. C'est la disposition en éventail avec imbrication.

Dans la Carte de la figure 5, nous avons indiqué les filons que nous avons observés dans la région du Lac Bleu.

On remarquera qu'il n'en existe pas au nord de la crête, qui va de l'angle NW de la Carte jusqu'au Pic du Midi (sur le bord E) en passant par le nord du Lac Bleu, le Pic de Merlheu et le Som de Pène Blanche. Au nord de cette ligne se trouvent les sédiments gothlandiens et ordoviciens, ainsi que le granite qui les a plus ou moins modifiés; dans la région, aucun filon de nos roches n'a été trouvé au milieu de ces terrains.

Au contraire, ces filons sont très abondants dans les schistes maclifères et les calcaires qui occupent presque tout le reste de la Carte et qui s'allongent en rubans grossièrement parallèles dans la direction EW.

Nos filons adoptent aussi dans l'ensemble cette direction générale; en certains points de la Carte, ils forment des faisceaux particulièrement nombreux.

Signalons les crêtes et la rive à l'ouest du Lac Bleu, où la plupart des filons sont dirigés à 120° E; il en est de même du groupe situé au sud-est du Lac Bleu.

Par contre, au nord du col d'Oncet et du col d'Aoube, la direction générale se rapproche plus de la direction EW.

Leur épaisseur varie depuis quelques centimètres jusqu'à 5^m, mais ce sont ceux de la dimension moyenne de 1^m à 2^m qui sont les plus nombreux. En général, l'œil peut les suivre sur une longueur de 1^m ou 2^m; ils disparaissent ensuite sous les éboulis, ou bien le regard, pour ceux voisins des abrupts, ne peut pas les distinguer des sédiments voisins. Ce n'est qu'exceptionnellement que nous avons pu en suivre quelques-uns sur une centaine de mètres.

Aussi les traits tracés sur la Carte ne représentent-ils que

20.50.



l'existence même et la direction des filons; les points où ils ont été réellement observés sont indiqués par un point. Les filons dont la direction n'a pu être relevée sont marqués par une croix.

Parfois aussi, mais rarement, on peut reconnaître qu'ils ont été très fortement dynamisés. Ce fait est sensible surtout quand ils traversent des calcaires. Un filon situé au sommet du Pic du Midi est remarquable à cet égard; nous aurons plus loin à revenir sur lui.

§ 2. — *Description.*

Ces filons présentent des différences notables entre les échantillons; certains de couleur verdâtre ne permettent de distinguer que des cristaux de feldspath blancs, enchevêtrés, de 2^{mm} à 3^{mm} en général, englobant entre leurs différents individus une matière indéterminable à l'œil nu. D'autres échantillons de couleur plus foncée, à facies parfois franchement basaltoïde et noirâtre, semblent presque homogènes; sur leur cassure on ne peut apercevoir que quelques petits cristaux de feldspath brillants, noyés dans une pâte compacte.

Parfois ces deux types sont réunis dans un même filon; le centre possède alors la structure que nous avons indiquée en premier lieu et qui est la structure diabasique, tandis que les salbandes possèdent la structure microlitique; parfois aussi ces deux types se constatent sur des filons séparés.

Ces deux manières d'être extérieures correspondent au microscope à des différences profondes dans la structure de la roche; on constate du reste tous les passages entre ces deux extrêmes.

Cependant, parmi le très grand nombre d'échantillons que nous avons observés et étudiés, le premier type est de beaucoup le plus abondant; nous le prendrons comme type Lac Bleu. A sa suite nous décrirons le deuxième type, qui n'en est qu'un facies de variation structurel.

Notre type *Lac Bleu* est une diabase intersertale; c'est une roche à cristaux de plagioclase basique (labrador) allongés suivant $pg^1(001)(010)$, et comprenant entre eux des plages ou des grains d'augite (voir fig. 2 et 3, Pl. IV).

La structure n'est pas toujours nettement intersertale et elle a parfois une légère tendance vers la structure ophitique (voir fig. 1, Pl. IV).

Nous croyons utile de préciser ce que nous entendons sous le nom de *structure intersertale* et de *structure ophitique*. L'une et l'autre sont des formes de la structure diabasique, caractéristique des diabases; elles ont souvent été confondues ensemble, mais il existe cependant entre elles une distinction très nette.

- La structure intersertale est définie par le fait que les plagioclases, en bâtonnets allongés parallèlement à $pg^1(001)(010)$ ou en cristaux parallèles à $g^1(010)$, enchevêtrés les uns dans les autres, en général très nombreux, contiennent entre eux soit des grains de pyroxène, soit une formation microlitique où le verre peut être plus ou moins abondant.

Dans la structure ophitique, les plagioclases sont aussi ou en baguettes allongées parallèlement à $pg^1(001)(010)$ ou en cristaux aplatis; ils sont, en général, moins nombreux que dans la structure précédente, plus courts, peu ou pas enchevêtrés. Ils sont de plus contenus dans de larges plages de pyroxène qui ne les renferment le plus souvent qu'imparfaitement et dont ils sortent, en les lardant.

Dans les deux cas, et c'est là un caractère général de la

structure diabasique, le pyroxène est en totalité ou en partie postérieur au feldspath.

Au Lac Bleu, le type de nos roches n'est pas toujours intersertal et tend parfois vers la structure ophitique. Cependant les feldspaths sont constamment de dimensions très notablement supérieures à l'augite qu'ils contiennent dans leur enchevêtrement; de plus, quand ils pénètrent à l'intérieur des petites plages d'augite et qu'ils prennent ainsi une structure voisine de la structure ophitique, cette pénétration n'est qu'à peine indiquée.

Il y a sur ce point une différence très nette avec les ophites typiques pyrénéennes qui sont des diabases à structure ophitique franche. Dans ces dernières, le silicate ferromagnésien en très larges plages englobe des feldspaths de dimensions beaucoup moindres en bâtonnets assez courts, ramassés et qui y sont parfois contenus tout entiers. Ces ophites pyrénéennes sont des roches qui se présentent exclusivement en petits massifs dans les terrains secondaires de la chaîne; à leur pourtour, des filons de cette même roche n'ont jamais été observés.

Rien de tel n'intervient dans notre type du Lac Bleu, qui ne forme jamais de massif et est exclusivement filonien. L'examen d'une plaque mince ne permet pas de se tromper dans l'attribution de ces roches à tel ou tel de ces gisements; nous discuterons plus loin la parenté chimique et les relations magmatiques qu'elles présentent entre elles.

Examinons maintenant les minéraux constituant de la diabase intersertale du type Lac Bleu.

Les plagioclases sont en longs cristaux allongés suivant pg^1 (001) (010); ils possèdent la macle de Carlsbad et celle de l'albite; on constate parfois celle du péricline. Ils sont d'habitude assez frais et leur basicité peut être déterminée facilement par les mesures optiques; cependant, ils sont

souvent ternis ou piqués de lamelles de damourite. Nous les attribuons à un labrador basique et plus rarement à la bytownite ⁽¹⁾. On aperçoit parfois dans la roche de très grands cristaux de feldspath, qui sont remarquablement frais, quoiqu'en partie résorbés par le magma; ils appartiennent à une génération antérieure aux précédents et sont constitués, en général, par de la bytownite.

Tous ces feldspaths ne sont que très rarement zonés.

L'augite est en plages limpides, de couleur lilas rose pâle, peu ou pas polychroïques. Ce n'est que très rarement qu'elle est maculée. Elle jouit d'une très grande dispersion. Cette propriété jointe à sa couleur nous permet de l'attribuer à une variété titanifère. Elle présente souvent la structure en sablier.

Dans quelques plaques très décomposées, cette augite est parfois remplacée par une trémolite très déchiquetée. Mais ce n'est que très rarement que le pyroxène est altéré en amphibole verte; ce cas est au contraire très fréquent dans les ophites franches pyrénéennes et y constitue même le mode général d'altération.

La biotite existe presque toujours en petites paillettes réparties un peu partout.

Enfin, la pyrite est abondante dans tous les échantillons. C'est ce type intersertal qui, nous l'avons dit, domine dans le massif du Pic du Midi; il y constitue la presque totalité des filons.

A côté de lui, cependant, existe un autre type à deux temps de consolidation très tranchés; il se trouve soit en filons indépendants, soit comme facies de bordure des filons dia-

⁽¹⁾ $a = 37^\circ$, $a' = 40^\circ$, $b = 21^\circ$, $b' = 20^\circ$ (65 pour 100). Dans la face g' (010), n_p fait un angle de 30° avec la trace de p (001) (67 pour 100).

basiques. Par suite, tous les stades intermédiaires existent entre ces deux roches.

§ 3. — *Type Lac Bleu microlitique.*

Il est caractérisé par la présence de cristaux de feldspath souvent remarquablement frais, sans trace d'altération mais parfois très dynamométamorphisés. Ils apparaissent au milieu d'un verre qui lui, par contre, est complètement décomposé. Cette roche a un facies absolument volcanique (voir fig. 4, Pl. IV).

Les feldspaths, quelquefois visibles à l'œil nu, sont tous allongés suivant pg^1 (001) (010) et obéissent tous à une direction de fluidalité très marquée. Ils sont constitués par du labrador aux environs de 65 pour 100 d'anorthite avec macles de l'albite, de Carlsbad et du péricline très nettes. On ne peut pas les considérer comme de véritables phénocristaux, mais bien comme des microlites, quoique l'on constate la présence simultanée de microlites, bien caractérisés ceux-ci, beaucoup plus petits et visibles seulement à un assez fort grossissement; ces cristaux, quoique différents de taille, se sont produits à une même période de la formation de la roche sans qu'il y ait eu hiatus.

Pour ces raisons nous dénommerons notre roche, une *labradorite*.

Il est intéressant de constater la parfaite conservation de ces feldspaths quand tous les autres éléments de la roche ont subi, quand ils existent, une totale décomposition. Dans les types extrêmes les plus vitreux ou ne constate pas la présence d'autres minéraux. Cependant, on aperçoit parfois des squelettes d'anciens cristaux transformés en minéraux phylliteux. Un de ceux-ci nous a présenté les formes caractéristiques

allongées de l'olivine. Il est à remarquer que nous n'avons pas observé ce minéral, même dans les roches les plus fraîches de notre type diabasique.

Entre ce dernier type vitreux et le type diabasique se rencontrent tous les intermédiaires. Les microlites feldspathiques deviennent plus nombreux, mieux formés ; ils abandonnent leur parallélisme pour commencer à se diriger dans toutes les directions, tandis que l'augite fait son apparition en tout petits éléments. Puis, dans d'autres échantillons plus évolués, ce dernier minéral se développe, s'étend en petites plages tandis que les feldspaths s'enchevêtrant entre eux ; nous arrivons au type Lac Bleu décrit en premier lieu.

En définitive, nous avons donc tous les termes de passage entre notre type Lac Bleu qui est une diabase intersertale et cette labradorite par l'intermédiaire de labradorites augitiques à augite.

Quoique cette règle ne soit pas absolue, il est à constater que la plupart des échantillons à type vitreux ont été recueillis au milieu des calcaires (Pic du Midi, Pène Blanche) tandis que les autres se présentent avec leurs caractères les plus nets au milieu des schistes. Ajoutons que la puissance de ces derniers filons est d'habitude supérieure à celle des types vitreux.

§ 4. — *Autres variétés.*

Au milieu de nos plaques nous avons trouvé quelques exemplaires de roches structurellement semblables à celle du type diabasique, mais très pauvres en silicate ferromagnésien.

Quelquefois, surtout dans les filons provenant des régions qui bordent la rive nord du Bastan, nous avons observé de

gros cristaux soit de plagioclase, soit de hornblende, plus ou moins résorbés par le magma. Ces roches fournissent des termes de passage avec notre type Piquette deras Lids; nous les étudierons en même temps que lui.

Nous avons aussi recueilli quelques rares échantillons de roches où l'augite de notre type normal est remplacée par de la biotite presque totalement chloritisée.

§ 5. — Composition chimique.

Les analyses suivantes du type Lac Bleu ont été faites par M. A. Pisani sur :

a. Labradorite augitique, très vitreuse, du sommet du Pic du Midi;

b. Labradorite augitique, du Col d'Oncet, terme de passage comme cristallinité entre la roche *a* et la suivante;

c. Diabase intersertale, très cristalline, de l'ouest du Lac Bleu.

Nous y joignons les analyses des ophites des Pyrénées :

d. Ophite, du Val d'Enfer (Hautes-Pyrénées) ⁽¹⁾;

e. Ophite, de Sauveterre (Basses-Pyrénées) ⁽²⁾;

f. Ophite, de Pouzac (Hautes-Pyrénées) ⁽²⁾,

ainsi que celles, particulièrement voisines, de quelques diabases :

⁽¹⁾ J. KÜHN, *Recherches sur les ophites des Pyrénées* (Bull. Soc. d'Histoire naturelle de Toulouse. Toulouse, 1885).

⁽²⁾ J. KÜHN, *loc. cit.*

⁽³⁾ Par M. A. Arsandaux. A. LACROIX, *Les roches basiques accompagnant les lherzolites et les ophites des Pyrénées* (Comptes rendus du huitième Congrès géologique international, p. 832. Paris, 1901).

g. Diabase, de Bochtenbeck, haute vallée de la Ruhr (Westphalie) ⁽¹⁾;

h. Diabase quartzifère, filonienne, Seven Pagodas, Madras ⁽¹⁾;

i. Salbande porphyritique de *h* ⁽¹⁾.

	Si O ² .	Al ² O ³ .	Fe ² O ³ .	Fe O.	Mg O.	Ca O.	Na ² O.	K ² O.	H ² O.	CO ² .	Ti O ² .	P ² O ⁵ .	Mn O.	Somme.
<i>a...</i>	46,25	17,70	0,48	8,50	6,29	7,53	3,82	2,80	3,65	1,45	2,62	»	»	101,09
<i>b...</i>	45,90	16,81	tr.	10,40	7,23	8,91	3,07	0,39	3,65	0,60	2,46	0,07	»	99,58
<i>c...</i>	47,51	17,81	1,42	8,72	8,05	8,20	3,45	1,21	2,63	»	2,02	»	»	101,02
<i>d...</i>	49,15	15,71	»	10,10	7,21	10,94	4,43	1,90	0,48	»	»	»	»	99,92
<i>e...</i>	49,69	14,05	1,58	7,01	7,30	12,01	4,85	0,54	3,18	»	1,45	tr.	»	101,66
<i>f...</i>	52,0	17,2	2,7	7,7	3,9	12,3	2,7	0,4	2,0	»	»	tr.	»	100,9
<i>g...</i>	46,92	18,05	3,61	6,73	7,43	9,11	2,99	1,24	2,58	0,10	0,94	0,19	0,09	99,98
<i>h...</i>	51,15	15,92	9,34	2,87	6,48	10,40	1,19	1,61	0,11	0,06	0,44	»	»	99,66
<i>i...</i>	50,86	15,65	»	10,85	6,03	11,76	2,01	1,56	0,30	tr.	»	»	»	99,65

Comme acidité les roches du Lac Bleu sont très inférieures à celles de Riou-Maou et surtout à celles de la Vallée du Lys; par contre, elles sont plus alumineuses et plus riches en magnésie et en chaux.

Vis-à-vis des ophites des Pyrénées (analyses *d*, *e*, *f*) elles semblent aussi moins acides; leur teneur en silice totale est, en effet, moindre. Cependant l'abondance plus grande de la chaux dans les ophites donne à ces dernières roches un cachet plus basique, ainsi que nous le verrons dans le Chapitre VIII. A ce point de vue, c'est l'ophite de Pouzac qui se trouve être la plus proche de nos roches, particulièrement des roches du Lac Bleu *b* et *c*.

La diabase de la vallée de la Ruhr a une analyse (*g*) abso-

⁽¹⁾ H. ROSENBUSCH, *Elemente der Gesteinslehre*, 2^e édition, p. 336. Stuttgart, 1901.

lument comparable aux nôtres. Celle de Seven Pagodas (*h*) est aussi très proche; la salbande (*i*) en est plus éloignée.

§ 6. — *Autres gisements dans les Pyrénées.*

Nous ne saurions songer à indiquer toutes les localités où nous avons reconnu la présence de roches semblables à celles du Lac Bleu; cette énumération serait oiseuse. Il nous suffira de dire que ce type constitue la plupart des filons qui traversent les terrains paléozoïques et le granite des Hautes-Pyrénées et de l'est des Basses-Pyrénées. Ailleurs, il est beaucoup plus rare et ne se rencontre même que tout à fait accidentellement.

Dans la région déterminée plus haut, certains points sont plus riches que d'autres en filons de ces roches. Citons la haute vallée d'Azun, les environs de Cauterets (¹), le front du grand glacier du Vignemale, les environs de Chèze dans la vallée du gave de Pau entre Pierrefitte et Luz, les environs du lac d'Ardiden dans le massif granitique de Néouvielle, etc.

Malheureusement un grand nombre de ces filons sont dans un état de décomposition tel que l'étude en serait impossible si l'existence d'échantillons plus frais ne venait établir une chaîne continue permettant une assimilation des types décomposés aux exemplaires francs.

Parfois ces roches, en plus de leur décomposition, prennent, par suite du dynamométamorphisme, une telle schistosité (aux environs de Viscos par exemple), qu'on pourrait penser avoir affaire à une véritable roche sédimentaire; macroscopiquement, aussi bien qu'au microscope, l'œil n'observe qu'une bouillie informe. Leur position stratigraphique discordante au milieu des autres terrains et aussi les pas-

(¹) Voir BEAUGEY, *loc. cit.*, passim.

sages avec des roches plus fraîches permettent seuls de leur attribuer leur véritable origine.

Nous n'avons cité les roches qui suivent ~~que parce que~~ notre attention a été attirée par quelques particularités de composition et par leur fraîcheur.

Parmi ces dernières, nous avons trouvé des types très peu décomposés dans le filon qui se trouve au sommet de la *Hourquette d'Aubert* dans le granite; il en est de même d'un filon dans le voisinage du lac de Caderolles et entre Campbieil et Badet; ces trois gisements se trouvent dans le massif granitique de Néouvielle.

Les filons des *environs de Gèdres*, un de *Barada* et un du *Soum Blanc* près de Gavarnie sont assez peu décomposés; ce dernier nous montre un exemple de très grand développement de l'augite qui, en se réunissant en grandes plages, donne à la roche une tendance ophitique, mais sans cependant la laisser confondre avec l'ophite typique. Il en est de même d'un filon observé par M. A. Bresson aux environs des bains de *Panticosa* (Espagne), à peu de distance de la frontière; l'augite y possède en outre souvent des plans de séparation suivant $h'(100)$, caractéristiques de la variété diallage. Quelques filons de la vallée d'Azun nous fournissent aussi de bons représentants de notre type.

Dans cette énumération, il nous faut insister plus particulièrement sur un point où la région est criblée de ces roches; c'est aux *environs de Camparnas et de Chèze* dans la vallée du gave de Pau, entre Pierrefitte et Luz, sur la rive droite de la vallée. Les filons sont sensiblement dirigés Est-Ouest et à peu près parallèles entre eux. Ils sont enclavés dans les schistes facilement délitables du silurien et, leur inclinaison étant voisine de la verticale, ils ont formé, par leur résistance aux agents atmosphériques, des sortes de gradins. Ils se présentent avec des dimensions variant entre quelques

centimètres et plusieurs mètres d'épaisseur, et ils offrent comme cristallinité toute la gamme des roches que nous avons distinguées au Lac Bleu.

Le type à faciès volcanique y est très développé, soit isolé dans des filons, soit accompagnant le type diabasique. Les types intermédiaires offrent une légère différence; ils sont beaucoup plus riches en microlites feldspathiques que ceux du Lac Bleu. L'augite ne semble s'y être formée que tout à fait à la fin de la consolidation de la roche, si bien que l'on y constate la présence de nombreuses labradorites à labrador presque complètement cristallines et dépourvues de silicates ferro-magnésiens.

Une autre particularité de ces roches est l'abondance de l'épidote en cristaux atteignant 2^{mm} à 3^{mm} de plus grande dimension, en plages très réfringentes et avec des couleurs de biréfringence très vives et une structure bacillaire en éventail. Cette épidote est presque caractéristique des roches de cette région, et, quand on la constate, on peut presque à coup sûr affirmer que celles-ci proviennent de la vallée du Bastan, en aval de Barèges jusqu'à Luz, ou bien de la partie est de la vallée du gave de Pau entre Luz et Pierrefitte.

Dans cette dernière région, j'ai constaté quelques roches où l'augite est plus ou moins remplacée par une amphibole brune très polychroïque (¹). Cette hornblende n'est qu'un élément accidentel dans l'ensemble du filon. La présence de ce minéral est cependant intéressante à considérer, parce qu'elle nous fournit un intermédiaire entre nos roches du Lac Bleu, exclusivement augitiques, et les roches de la vallée du Lys, presque exclusivement amphiboliques.

Dans un certain nombre de ces roches amphiboliques

(¹). J'ai observé le même fait dans une roche recueillie sur la route de Bigorre à Barèges par le col du Tourmalet, entre Lartigue et le sommet du col.

de la vallée du gave de Pau, nous avons observé des nodules microscopiques holocristallins formés par la juxtaposition de plagioclase et d'une amphibole bacillaire très brune; très abondante, rappelant certaines amphiboles sodiques. Ces nodules représentent en petit une roche lamprophyrique du col de la Couillade (Ariège) que nous décrirons plus loin et que nous rapprocherons des camptonites.

M. P. Termier a bien voulu nous communiquer un échantillon et une plaque mince d'une roche formant un banc à peu près horizontal à *Moiné-Mendia* (Basses-Pyrénées) ⁽¹⁾.

Dufrénoy y signale « un affleurement d'ophite et M. Stuart Menteath a indiqué de l'ophite à cette même place.... ».

M. P. Termier se refuse à ranger cette roche à côté des ophites pyrénéennes; nous partageons entièrement cette manière de voir. Les plagioclases de cette roche sont moins décomposés que les autres minéraux; on peut reconnaître, à leur allongement en baguettes, à leur forme, que la structure primitive de la roche était la structure intersertale. Le silicate ferro-magnésien est complètement remplacé par de la chlorite. La magnétite y est très abondante.

Cette plaque est identique à celles de nombre de roches très décomposées provenant des Hautes-Pyrénées et que nous rattachons à notre type Lac Bleu, par toute une série d'intermédiaires de plus en plus frais. Pour cette raison, nous n'hésitons pas, malgré sa presque complète altération, à rapporter la roche de *Moiné-Mendia* à ce même type.

Quoique provenant de régions extra-pyrénéennes, il nous

(1) Voir P. TERMIER, *Les brèches de friction dans le granite et dans le calcaire cristallin à Moiné-Mendia, près Hélette (Basses-Pyrénées), et leur signification tectonique* (Bulletin de la Société géologique de France, 4^e série, t. IV, p. 834).

a paru intéressant de citer ici quelques roches très voisines de ce type Lac Bleu.

M. J. Bergeron a bien voulu nous laisser examiner les roches filoniennes qu'il a recueillies dans la *Montagne Noire*. Quelques-unes provenant des environs de Perrebrune et de Grenouillères, et d'autres ayant pour origine Lacaune sont des diabases présentant beaucoup de points communs avec les roches qui font l'objet de ce Chapitre. Cependant, dans quelques échantillons, la structure intersertale y est plus évoluée vers la structure ophitique, sans qu'elle atteigne toutefois celle des ophites typiques. L'augite est en grandes plages moins rosée, moins titanifère que la nôtre; les feldspaths y sont moins développés, moins enchevêtrés. On y remarque la même production, par décomposition, de gros globules chloriteux.

M. J. Bergeron pense que la plupart de ces roches sont postérieures au viséen et antérieures au stéphanien. Cette indication d'âge de roches semblables dans une région voisine de la nôtre est intéressante à constater, puisque nous ne connaissons pas l'âge supérieur de nos roches filoniennes pyrénéennes.

M. F. D. Adams a étudié un certain nombre de diabases filoniennes traversant la région laurentienne au nord de *Montréal* (1). Il a bien voulu me donner l'hospitalité de son laboratoire, à la Mac Gill University, à Montréal, pour examiner à loisir ses roches et ses préparations.

Une roche, provenant de un mille au nord-ouest de Sainte-Sophie sur la route, m'a rappelé l'andésite augitique intermédiaire entre le type diabasique et le type vitreux du Lac Bleu. Les plagioclases me paraissent plus basiques et, vrai-

(1) Voir : FRANK D. ADAMS, *Report on the Geology of a portion of the Laurentian area lying to the north of the Island of Montreal* (Geological Survey of Canada, Ottawa, 1896, p. 136 et suivantes).

semblablement, doivent être attribués au labrador; ils sont allongés parallèlement à $pg'(001)(010)$ et ont des tendances à se réunir en étoiles. Ceux du deuxième temps sont micro-litiques avec un sens de fluidalité assez marqué; ils contournent parfois nettement les cristaux du premier temps. Le silicate ferro-magnésien, abondant surtout en cristaux porphyriques, est très décomposé: c'est de l'augite. Ces minéraux sont accompagnés par de la magnétite en grains assez gros et parfois en petits grains disposés entre eux en assemblages rectangulaires branchus. L'épaisseur de ce dyke est plus grande que ne l'est d'habitude celle des filons des Pyrénées; elle est d'environ 8^m.

Une autre roche de la même région, recueillie sur la voie du chemin de fer, entre Saint-Gérôme et New-Glasgow, est, par contre, à rapporter à nos ophites pyrénéennes à grands éléments. C'est une diabase ophitique, où les grands cristaux de feldspath sont très enchevêtrés les uns dans les autres. L'augite, presque complètement ouralitisée, a dû se produire très peu avant le feldspath; parfois même on constate qu'elle est moulée par ce dernier. Cette roche est remarquable en ce qu'elle contient du quartz micropegmatitique en inclusions dans le feldspath; ces inclusions n'y forment pas des assemblages étoilés, mais elles se trouvent dans des zones de feldspath particulièrement acide et appartenant probablement à un des feldspaths du groupe monoclinique.

M. Ernest Gourdon a bien voulu me communiquer une roche qu'il a rapportée de l'expédition antarctique du docteur Charcot et qui constitue un type très net de passage entre notre roche du type Lao Bleu et notre roche du type Vallée du Lys. Cet échantillon, à pâte grisâtre compacte et à phénocristaux de hornblende, a été recueilli dans les éboulis de la baie de Biscoë, qui échancre la partie sud de l'île Anvers, vis-à-vis de la terre de Danco; l'île Anvers est située à l'extré-

mité méridionale de l'archipel de Palmer, qui lui-même forme le flanc nord-ouest du détroit de Gerlache ⁽¹⁾.

La roche est à deux temps. Au premier temps, en plus de la hornblende, apparaissent des phénocristaux de plagioclases assez acides; ces phénocristaux ne sont pas du tout résorbés et de plus la hornblende n'y atteint pas les dimensions et n'y possède pas les formes de celle de la Piquette ~~des~~ Lids, comme nous le verrons plus loin; nous éloignerons donc la roche recueillie par M. Ernest Gourdon de cette dernière. Au deuxième temps appartiennent de nombreux bâtonnets de feldspath calcosodique, s'éteignant sous de petits angles et renfermant entre eux une matière chloritisée qui est attribuable à de l'augite décomposée. Par ses caractères cette andésite augitique à hornblende et plagioclase est à rapprocher, par son premier temps, de la microdiorite à hornblende de la vallée du Lys; par son deuxième temps elle est comparable à certains échantillons intersertaux du Lac Bleu.

CHAPITRE VI.

TYPE ARBIZON.

§ 1. — *Généralités.*

À l'inverse de ce qui se passe dans la région du Lac Bleu, c'est ici dans la région du Pic d'Arbizon la roche à facies volcanique qui domine de beaucoup sur celle à facies diabasique, soit par son importance dans les filons mixtes, soit par le plus grand nombre dans les filons à facies unique.

C'est une andésite augitique à augite passant, par une augmentation de cristallinité, à une diabase intersertale.

(1) Environ 65° de latitude S. et 64° de longitude W. (de Paris).

Ce gisement a été signalé par M. A. Lacroix ⁽¹⁾, qui a montré l'énorme développement qu'y prennent, au contact du granite et des sédiments, les différentes roches métamorphiques : cornéennes, grenatites, épidotites, limurites, etc.

Le Pic d'Arbizon se trouve dans les Hautes-Pyrénées, à 8^{km} environ à vol d'oiseau au sud-ouest de la petite ville d'Arreau, située dans la vallée de la Neste d'Aure.

Pour atteindre nos gisements, il est cependant préférable de partir de Bagnères-de-Bigorre et de remonter la vallée de l'Adour jusqu'au hameau de Payole (1110^m) où l'on quitte la route de voiture qui continue vers le col d'Aspin et Arreau. Après Payole on suit le sentier qui, à travers le bois d'Arriéou-Tord, conduit aux cabanes de Camoudiet (1310^m); on monte ensuite à travers les pâturages jusqu'au petit lac d'Arrou (2121^m) que l'on atteint après 4 heures de marche de Payole. Ce petit lac d'Arrou, flaque d'eau sans profondeur, alimenté par la fonte des neiges, peut être considéré comme la source de l'Adour.

C'est de ce point que l'on a la vue d'ensemble la plus nette sur les gisements dont la topographie est indiquée sur les diverses cartes d'une façon absolument méconnaissable. La vue s'étend au loin vers le Nord, sur des pentes douces et mamelonnées qui descendent jusqu'à la vallée de l'Adour et Payole; vers le Sud, au contraire, le regard ne se porte pas à plus de 2^{km} et est arrêté par des murailles rocheuses abruptes et désolées. Ces murailles dessinent très grossièrement deux demi-cercles à concavités tournées vers le Nord; l'un à l'Est

(¹) Voir : *Minéralogie de la France*, t. II, p. 191; *Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact*, 2^e Mémoire, p. 50; *Les Pyrénées (roches cristallines)*, p. 31. — Voir aussi : A. DE ROMEU, *Les roches filoniennes basiques de la région de l'Arbizon* (*Bulletin de la Société française de Minéralogie*, 1904, p. 87; Paris).

est ce que, à l'exemple de M. A. Lacroix, nous appellerons le cirque d'Arbizon, du nom du pic (2831^m) qui le domine dans sa partie sud-est; l'autre est le cirque de Montfaucon, séparé du précédent à l'Est par le pic de Montfaucon (2724^m).

Cette région est constituée par les calcaires, les schistes et quartzites du carbonifère inférieur (¹), qui y ont subi de très nombreux plissements. A peu de distance à l'Ouest, mais en dehors de nos gisements, s'étend l'important massif granitique de Néonvielle. Dans le cirque de Montfaucon et celui d'Arbizon, le granite n'apparaît qu'en très petits affleurements isolés, plaqués sur les flancs du pic de Montfaucon. C'est autour de ce pic et à la faveur de ces petits pointements granitiques et des roches filoniennes granitiques connexes que se sont développés ces phénomènes de contact, si grandioses, qui ont rendu cette région classique pour l'étude du métamorphisme; production d'axinite, idocrase, grossulaire, pyrénite, prehnite, etc.

En plus des diverses roches précédentes, le pic de Montfaucon est aussi traversé par des filons de roches non granitiques. On en observe en place un certain nombre sur le côté ouest du cirque d'Arbizon, surtout dans les derniers ravins, mais c'est dans les éboulis du fond du cirque de Montfaucon qu'il est possible de mieux les étudier. Les filons eux-mêmes sont, dans ce dernier cirque, assez difficiles à atteindre et, à cause des abrupts, la récolte des échantillons *in situ* n'y est pas toujours facile. Mais, par contre, les immenses éboulis qui tapissent les bords du pic contiennent d'énormes quartiers de roches de plusieurs dizaines de mètres cubes; souvent des filons entiers sont englobés dans ces blocs et l'on peut ainsi les étudier dans des conditions d'observation particulièrement favorables. C'est dans ces éboulis que l'on recueille

(¹) D'après A. BRESSON, *loc. cit.*, p. 174.

en très grande abondance, et avec la plus grande facilité, les roches que nous avons choisies pour en faire le type Arbizon.

Ainsi que les roches du Lac Bleu, elles offrent tous les passages d'un type très vitreux à allure franchement volcanique, à un type diabasique presque holocristallin; à leur inverse cependant, c'est le type vitreux qui est ici prépondérant et aussi se différencie le plus nettement des autres types pyrénéens. Nous lui donnerons, dans notre description, une plus grande importance qu'au type diabasique qui se rapproche de celui décrit dans le Chapitre précédent, mais que toutefois l'on en distingue facilement.

§ 2. — *Type Arbizon à facies vitreux.*

C'est une roche à deux temps très tranchés de consolidation où, à l'œil nu, de très nombreux cristaux de feldspath plagioclase blanc, à cassure brillante, se détachent sur une pâte compacte de couleur gris noirâtre ou gris verdâtre.

La roche a absolument l'allure des anciens porphyres, et, n'était sa couleur, on pourrait la comparer macroscopiquement au porphyre rouge antique du Djebel Dokan ou au porphyre vert du pays de Galles (voir *fig. 1, Pl. VI*).

Les feldspaths sont aplatis suivant $g^1(010)$; ils se présentent en baguettes allongées à cassures miroitantes et presque microtiniques, ne dépassant pas 0^m,01 de plus grande dimension. Ils sont accompagnés, au premier temps, par de nombreuses mouches de pyrite et par quelques petits cristaux arrondis d'augite brun noirâtre.

Bien souvent, la roche éruptive englobe des fragments du quartzite qu'elle a traversé; comme elle n'a pas pu le digérer, le sédiment, de couleur très foncée, est très apparent dans la roche filonienne. Ce phénomène est surtout très marqué près des salbandes. Il s'est produit là une sorte de brèche de

friction, due au frottement du magma très pâteux pendant son ascension.

Au microscope, les roches de ce type présentent une structure microlitique très nette, à deux temps très séparés de cristallisation, avec un résidu vitreux.

Les phénocristaux sont très nombreux, très bien développés; le plus souvent, ils possèdent des formes propres. Ils sont entourés par des microlites très ténus, parfois filiformes, sans direction de fluidalité, qui sont eux-mêmes englobés par un verre plus ou moins abondant, suivant les échantillons (voir *fig. 4, Pl. V*).

La plupart des cristaux du premier temps sont de grands individus de plagioclases à formes géométriques et allongés en général perpendiculairement à $g^1(010)$; ils sont constitués par une andésine basique ne dépassant pas 40 pour 100 environ d'anorthite. La macle de l'albite se constate dans tous les cristaux; la macle de Carlsbad y est excessivement rare. Ils ne sont jamais zonés, mais leurs sections présentent souvent des facules moins biréfringentes.

Quoique montrant presque toujours des traces de décomposition plus ou moins développées, les cristaux de feldspath sont en général assez frais. C'est la décomposition en minéraux phylliteux qui est la plus fréquente; le plus souvent, ils sont transformés en muscovite (séricite), qui apparaît en très petites paillettes dans les clivages ou bien s'étale au contraire en larges plages. Parfois aussi les feldspaths sont mouchetés de calcite; ils sont souvent aussi brisés en morceaux séparés par des microlites ou par de la matière vitreuse. Ces cassures se sont effectuées pendant que la roche n'était pas encore solidifiée; sa montée dans le filon était contrariée soit par le frottement des parois, soit par celui des enclaves.

L'augite ne joue au premier temps, dans ce type, qu'un

rôle tout à fait accessoire. Elle est en cristaux de petite taille, souvent en grains arrondis comme si elle avait été partiellement digérée par le magma. Elle est maclée fréquemment suivant h^1 (100) et parfois suivant o^1 (101) (macles cruciformes par pénétration).

Elle est très limpide, souvent incolore, mais souvent aussi très faiblement teintée en lilas rosé très pâle ; elle possède une très grande dispersion et montre fréquemment la structure en sablier. Elle est postérieure au feldspath qu'elle moule parfois. Elle est en général très fraîche, quoiqu'en certains échantillons elle apparaisse partiellement transformée en pennine.

La pyrite est très abondante et crible certaines préparations.

Au deuxième temps ce sont encore les feldspaths qui dominent. Ils appartiennent à deux générations distinctes. Les uns, d'assez grande taille, allongés suivant pg^1 (001) (010), mais ayant parfois des formes carrées, sont peu abondants ; ils constituent un intermédiaire entre les phénocristaux et les autres microlites feldspathiques, ceux-là très nombreux, filiformes, se pressant les uns contre les autres, ou, dans les échantillons peu cristallisés, nageant dans la matière vitreuse. Ils sont maclés suivant la loi de l'albite. Ils varient depuis l'andésine jusqu'à l'oligoclase s'éteignant sous de très petits angles, avec prépondérance de ce dernier feldspath.

L'augite, avec des caractères voisins de ceux du premier temps, y est plus abondante, mais elle peut aussi manquer complètement.

Dans certains échantillons le microscope nous a montré, à un très fort grossissement, de rares paillettes de biotite.

Enfin, le verre existe dans toutes ces roches ; parfois il est très abondant et constitue, par une diminution corrélative des microlites, la presque totalité de la pâte ; la roche devient alors une simple andésite.

§ 3. — *Type Arbizon à facies diabasique* (1).

A l'œil nu, la roche ne possède pas la structure nettement porphyrique qui donne son cachet au type précédent ; de-ci de-là seulement d'assez rares cristaux de feldspath blanc verdâtre et d'augite foncée apparaissent faiblement dans une pâte grisâtre peu compacte.

Les feldspaths sont ternes, d'aspect cireux, sans formes propres ; ils se détachent à peine sur la pâte, qui est ponctuée de petits grains d'augite et de très fines particules de pyrite.

Dans les échantillons les plus cristallins, on constate que ces cristaux d'augite moulent les feldspaths et, par la diminution de la pâte, on voit la roche prendre l'aspect d'une fine mosaïque enchevêtrée de ces deux minéraux.

L'examen microscopique montre que les deux temps de cristallisation sont bien moins dissemblables que dans le type vitreux (voir *fig. 2, Pl. V*).

Les phénocristaux ne se distinguent que difficilement, par leur grande taille et leur forme plus géométrique, des cristaux du deuxième temps, qui, lui, est presque complètement holocristallin. Il est composé de feldspaths plagioclases allongés en grandes baguettes parallèlement à g^1 (010) et contenant entre eux de plus petits cristaux d'augite ; c'est la structure intersertale (2).

(1) C'est ce type que nous avons désigné sous le nom de *type B* dans notre *Note sur les roches filoniennes basiques de l'Arbizon* (*Bulletin de la Société française de Minéralogie*, 1904, p. 87. Paris).

(2) Dans notre *Note* antérieure sur ces roches, nous avons dit que ce type passait parfois à la structure ophitique. Depuis, l'étude d'un plus grand nombre d'échantillons de cette région nous a fait revenir sur cette opinion ; elle nous a convaincu que la structure de ces roches ne devait pas, ainsi que nous l'avons dit plus haut, être rapprochée de celle des ophites typiques des Pyrénées. Dans ces dernières les plages d'augite sont bien plus développées ; elles sont lardées,

Le premier temps se compose essentiellement de grands cristaux de feldspath présentant la macle de Carlsbad et celle de l'albite, et offrant parfois de fines cassures transversales à l'allongement généralement perpendiculaire à g^1 (010). Comme ceux du type vitreux, ils ne sont pas zonés et appartiennent à l'andésine. Très souvent, ils sont très décomposés suivant le même mode que ceux du type vitreux. La pyrite ne fait jamais défaut. L'augite, par contre, manque très souvent; une plaque nous a offert une section avec les plans de réparation h^1 (100).

Au deuxième temps, les cristaux de feldspath possèdent de plus grandes dimensions que ceux de l'autre type; ils sont en général remarquablement frais, même quand la roche est criblée de pennine et de nodules de calcite. Ils appartiennent à l'oligoclase-andésine et à l'andésine. Ils se présentent souvent en baguettes allongées perpendiculairement à g^1 (010), enchevêtrées entre elles et renfermant dans les espaces ainsi formés de petits cristaux d'augite et de la pennine résultant de la décomposition du résidu vitreux.

Il existe un peu de biotite en très petites paillettes.

Ces roches sont donc des diabases intersertales comme celles du Lac Bleu. Cependant elles peuvent facilement se distinguer les unes des autres. Le feldspath de celle de l'Arbizon semble être un peu plus acide que l'autre; les dimensions du feldspath du deuxième temps sont moindres aussi et présentent à un moindre degré le caractère géométrique de bâtonnets. De plus, elle paraît considérablement moins riche en silicate ferro-magnésien.

contiennent même complètement des bâtonnets de feldspath de taille beaucoup plus petite. Cela ne se produit jamais dans les roches de l'Arbizon, où les feldspaths ont des dimensions beaucoup plus considérables que celles du pyroxène, qui n'en englobe les extrémités qu'accidentellement et en plages très réduites (voir *fig. 1, Pl. V*).

Entre nos deux facies du type Arbizon, il existe de nombreux termes de passage (voir *fig. 3, Pl. V*). Ils se trouvent soit parfois dans un même filon en allant du bord au centre, soit dans les filons séparés dont ils constituent la totalité. On constate d'abord que le verre du type vitreux devient plus riche en microlites; ces derniers se développent de plus en plus comme taille jusqu'à atteindre presque celle des phénocristaux. De plus, l'augite, peu abondante dans les roches à facies vitreux, augmente peu à peu jusqu'à atteindre son maximum dans les roches à facies franchement diabasique. Cela s'explique facilement si l'on considère que, le pyroxène étant postérieur au feldspath, dans la roche hypocristalline l'élément feldspathique s'était formé déjà en grande partie, tandis que le méta-silicate non cristallisé encore se trouvait dans le magma vitreux.

§ 4. — Composition chimique.

Nous donnons la composition chimique de :

- a. Andésite augitique, très vitreuse, de l'Arbizon.
- b. Diabase intersertale, de l'Arbizon.
- c. Diabase intersertale, à tendance ophitique, de l'Arbizon.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe O.	Mg O.	Ca O.	Na ₂ O.	K ₂ O.	H ₂ O.	TiO ₂	P ₂ O ₅	SOMME.
a...	51,61	19,31	1r.	8,93	4,35	3,83	5,37	1,90	3,12	2,17	0,64	101,23
b...	47,81	19,10	1,35	8,45	5,10	6,88	3,57	1,98	4,00	2,43	0,63	101,30
c...	46,60	18,90	1,98	8,21	6,41	8,52	2,50	1,69	3,10	1,80	0,30	100,01

Ces roches sont chimiquement très proches de celles du Lac Bleu; nous renvoyons à ce que nous avons dit de ces dernières comparées aux ophites pyrénéennes.

§ 5. — *Autres gisements dans les Pyrénées,*

En dehors de l'Arbizon les roches de ce type sont relativement peu nombreuses ; de plus nous avons généralement constaté des roches plus voisines de la variété diabasique que de la variété vitreuse.

Cette dernière, nous ne l'avons observée que dans un filon des *environs de Luz* et dans deux échantillons de la collection de M. A. Bresson, l'un provenant des bords du *Lac Berson* et l'autre de la *vallée de Gaziès* (Hautes-Pyrénées) ; encore le deuxième temps de ces roches est-il moins vitreux qu'à l'Arbizon. Quelques andésites augitiques des *environs de Caunterets* (Ardiden, vallée du Pont d'Espagne, ouest du Moné) se placent entre les deux extrêmes ; nous y rangeons aussi quelques filons de la *vallée d'Azun*, qui présentent la particularité de posséder des minéraux de dimensions moindres que ceux des roches précédentes.

Dans le massif de Néouvielle (*Lac de Portbieil, Lac de Caderolles*) nous avons recueilli quelques diabases intersertales. Des roches semblables existent dans les *environs de Luz et de Barèges*.

Parmi les roches provenant de la région laurentienne au nord de *Montréal* (Canada) et qui nous ont été communiquées par M. Frank D. Adams, celle qui vient du *Palp mill* sur la rivière du nord en haut de Saint-Jérôme nous semble à rapprocher des roches de passage de l'Arbizon. C'est une diabase intersertale à temps peu tranchés où l'augite, plus abondante que dans nos roches françaises, semble moins titanifère. Ce pyroxène y est à peu près contemporain des feldspaths, qui sont moins allongés que les nôtres. Il y a une grande abondance de magnétite et l'on constate un peu de biotite.

CHAPITRE VII.

TYPE PIQUETTE DERAS LIDS ET ROCHES NON COMPRISES DANS LES TYPES PRÉCÉDENTS.

§ 1. — *Généralités.*

Ce type est constitué par une *andésite augitique à hornblende, augite et andésine*. Ce sont ces trois derniers minéraux qui lui impriment une physionomie particulière; ils se trouvent en cristaux ayant parfois plusieurs centimètres de plus grande dimension, réunis le plus souvent en agrégats qui tranchent sur le fond gris foncé d'une pâte irrésoluble à l'œil nu (voir fig. 2, Pl. VI).

Ils ont frappé depuis longtemps les observateurs et, aux environs de Barèges, ils sont connus depuis la fin du XVIII^e siècle en même temps que les minéraux classiques de la région que ne manque pas de citer aucun des vieux auteurs (axinite, pyrénéite, asbeste).

Ces roches sont surtout abondantes dans le ravin d'Escoubons et sur les flancs de la Piquette deras Lids. Elles sillonnent en filons les sédiments dévoniens fortement métamorphisés par le granite du massif de Néouvielle en cornéennes, grenatites, épidotites, roches à axinite (limurite), etc. Elles sont postérieures au granite qu'elles recoupent. Il est à remarquer que ces roches ne se trouvent que le long de la vallée du Bastan, surtout aux environs de Barèges; leur prédominance est à la Piquette deras Lids, mais on en rencontre dans les vallons des torrents qui jusqu'au col du Tourmalet se déversent par la rive gauche dans le Bastan; on en rencontre aussi en aval dans le torrent de l'Isè qui se jette en amont de Luz (1).

(1) Échantillon recueilli par M. A. Bresson.

J'en ai trouvé des filons assez rares, sur les crêtes qui dominant la rive droite du Bastan et qui de l'autre côté surplombent le Lac Bleu ; mais en cet endroit la hornblende et le feldspath ne sont pas groupés entre eux en gros nodules et l'on n'aperçoit que de gros cristaux isolés qui nagent dans la pâte. Ailleurs dans les Pyrénées je n'ai observé cette roche qu'en un seul point, ainsi que nous le verrons plus loin ⁽¹⁾.

La pâte de la roche est constituée par des microlites de feldspath acide et d'augite. Quand on examine une partie de la préparation où il n'existe pas de phénocristaux on croirait avoir devant soi telle ou telle roche du Lac Bleu ou de l'Arbizon. Mais, quand l'œil rencontre les énormes agrégats grenus, on est amené à séparer très nettement ces roches des précédentes (voir *fig. 2, Pl. II*).

La hornblende et les feldspaths plagioclases, souvent dans un état très grand de fraîcheur, sont arrondis par corrosion dans le magma ; ils contiennent parfois entre eux de la biotite, de la magnétite, du grenat et quelquefois de l'augite. Ces derniers minéraux, sauf l'augite, se rencontrent aussi seuls ; leurs dimensions atteignent parfois 3^{mm} à 4^{mm}.

La structure de la roche est donc à deux temps : suivant les échantillons elle est presque holocristalline ou bien nettement hypocristalline. Dans ce dernier cas, on voit des microlites qui nagent dans une pâte très abondante mais complètement décomposée.

Les phénocristaux sont constitués par une andésine à

⁽¹⁾ Dans notre Note antérieure sur les roches de cette région, nous avions fait de ce type un sous-type B' d'une des roches de l'Arbizon d'après un échantillon qui nous avait été communiqué. Depuis, une étude approfondie de la région de l'Arbizon nous a montré que ce type n'y existait pas et que par suite cette origine n'avait été indiquée que par erreur d'échantillonnage. Cette roche ne peut provenir que des environs de Barèges.

environ 38 à 40 pour 100 d'anorthite ⁽¹⁾. Ils sont en général très frais, à aspect microtinique et présentent la macle de Carlsbad et celle de l'albite. Ils ne sont que rarement zonés; cependant la section perpendiculaire à n_p , dont il est question dans la note infrapaginale, nous a montré un cristal ayant sur le bord un léger zonage avec bord arrondi par un commencement de digestion dans le magma.

Parfois le minéral est très décomposé en muscovite et ne laisse apparaître que de place en place des plages parfaitement intactes.

La hornblende forme des cristaux de 3^{cm} à 4^{cm} de longueur; elle semble antérieure au feldspath et, dans l'ensemble des roches, moins abondante que lui. Elle est très polychroïque :

n_g = brun rougeâtre,

n_m = brun,

n_p = jaune brunâtre.

Dans $g^1(010)$, n_g fait avec $mm(110)(\bar{1}10)$ un angle de 8° à 10°.

L'apatite se rencontre dans presque toutes les préparations en grains assez volumineux dans les minéraux précédents ou en grains ou bâtonnets libres à l'intérieur de la pâte.

La magnétite se trouve souvent aussi en minéral isolé faisant partie de l'agrégat. Enfin, la biotite et l'augite sont des minéraux tout à fait accidentels. La biotite est enclavée entre deux minéraux ou bien existe seule dans la pâte; dans ce dernier cas elle a perdu la plupart de ses caractères propres et tend à devenir un minéral trouble opaque; il en est de même de la hornblende.

(1) Des sections perpendiculaires à n_g et à n_p nous ont en effet donné respectivement des angles d'extinction de 17° et de 11°.

L'augite se trouve englober la hornblende en micropegmatite. Il semblerait que l'amphibole ait commencé à se produire tout d'abord et que, les conditions magmatiques venant à se modifier, la solidification se soit continuée en une augite diallagique peu colorée.

Enfin il nous reste peu de choses à dire de la pâte. Elle paraît se rapprocher du type Arbizon dans ses variétés très cristallines; l'augite est abondante en petits cristaux au milieu de microlites de plagioclases acides (andésine). Dans les types vitreux, les microlites feldspathiques existent seuls ou dominant franchement; leur forme se rapproche du type vitreux du Lac Bleu quand ces dernières roches renferment peu de phénocristaux.

§ 2. — Composition chimique.

Nous donnons ci-dessous l'analyse de :

a. Andésite augitique à andésine, augite et hornblende, de la Piquette deras Lids.

b. Hornblende, de cette même roche.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ²⁺ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SOMME
a...	47,25	18,80	tr.	8,20	4,81	9,05	2,62	2,38	4,10	2,34	0,50	100,05
b...	38,51	14,41	»	13,10	10,40	14,10	2,37	1,13	1,25	5,90	0,13	101,30

Nous nous bornons ici à enregistrer ces nombres en renvoyant au Chapitre VIII pour l'examen des affinités chimiques de cette roche. Disons cependant qu'elle est très voisine de l'ensemble de celles du Lac Bleu et de l'Arbizon et qu'elle n'en diffère que par sa teneur moindre en magnésie.

§ 3. — *Autre gisement dans les Pyrénées.*

Nous rapportons à ce type une roche que nous avons trouvée dans les Pyrénées-Orientales sur le flanc gauche de la vallée du Tech, à peu de distance de la route d'Arles-sur-Tech à Prats-de-Mollo, en aval du village du Tech et au-dessus de la ferme de *Puig-Rodon*.

Au milieu des arènes formées par la décomposition d'un granite très amphibolique (*), j'ai recueilli quelques échantillons que j'estime devoir appartenir à un filon, mais que l'état d'altération du terrain englobant ne m'a pas permis de mieux observer.

Ils présentent des phénocristaux de plagioclase, de hornblende brune et parfois d'apatite, les uns et les autres en voie de résorption. Le reste de la roche est formé par des microlites allongés de plagioclases acides accompagnés d'augite sans résidu vitreux abondant. Parfois, on remarque des agrégats microscopiques presque grenus de plagioclase et de hornblende qui ont tout à fait, en petit, l'allure de la roche de la vallée du Lys.

§ 4. — *Roches ne pouvant se rapporter aux types précédents.*

En dehors des cinq types principaux précédents, il existe dans les Pyrénées quelques roches aberrantes qu'il nous a été impossible d'y rattacher.

M. A. Lacroix a cité (**) une roche filonienne très altérée recueillie sur le front du glacier des *Gourgs blancs* (Hautes-

(*) Certainement par digestion endomorphique d'assises calcaires.

(**) *Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact*, 2^e Mémoire, etc., p. 43.

Pyrénées); à l'œil nu, elle offre un aspect variolitique très net; malheureusement, au microscope, on n'y distingue plus que des feldspaths groupés sphérolitiquement, dont les fibres sont allongées négativement et s'éteignent en long.

Dans la région du massif du Pic du Midi, au sud du Lac Bleu, nous avons observé un filon de labradorite nicacée avec, au premier temps, quelques rares phénocristaux mal développés de plagioclase. La biotite du deuxième temps est si abondante que, sans hésitation, on peut ranger cette roche dans le groupe des lamprophyres.

M. A. Lacroix nous a remis des échantillons d'un filon qu'il a trouvé au milieu du granite du col de la Couillade-en-Suc (massif du pic des Trois-Seigneurs, Ariège) (1).

A l'œil nu, cette roche est d'aspect basaltique, noirâtre et compacte, sans qu'on y puisse rien distinguer. Au microscope, on constate que la pâte qui constitue la presque totalité des préparations est formée en majeure partie par une très grande abondance de microlites d'une amphibole brune sodique, la barkévicitte; cette dernière est accompagnée par quelques microlites d'augite plus ou moins violacée, par de très nombreux petits grains de magnétite et par des microlites ou des plages de plagioclase qui englobent tous les minéraux précédents sans résidu vitreux. La roche a absolument le facies d'une roche à néphéline; cependant nous n'avons pas pu déceler ce dernier minéral.

Les phénocristaux sont peu nombreux et de petite taille; ils sont constitués surtout par de l'augite, quelquefois par une apatite en voie de résorption. L'abondance de la barkévicitte, qui donne sa physionomie particulière à la roche et la rend bien différente de toutes les autres de la chaîne, la place sans hésitation dans le groupe des lamprophyres;

(1) Voir *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. I, etc., p. 676.

cette considération jointe à ses autres caractères nous la fait classer parmi les camptonites.

Les plaques minces de cette roche sont parsemées de taches plus leucocrates que le reste de la préparation, taches de 2^{mm} à 3^{mm} de diamètre qui sont constituées par des lamelles de biotite nageant dans une masse de feldspaths plagioclases allongés pour la plupart parallèlement à pg^1 (001) (010); le centre de ces nodules est souvent formé par un noyau de calcite.

Parfois ces taches claires possèdent des dimensions beaucoup moindres, mais par contre deviennent très nombreuses dans une préparation. On constate qu'en petit elles possèdent la même constitution que les précédentes, mais que la biotite y est totalement absente.

Rappelons que, si cette roche est unique dans toute la chaîne, nous avons signalé ⁽¹⁾ que les enclaves microscopiques situées dans une roche du type Lac Bleu recueillie dans les environs de Camparnas (Hautes-Pyrénées) présentent avec celles-ci les plus grandes analogies.

CHAPITRE VIII.

RAPPORTS CHIMIQUES.

§ 1. — *Rapports chimiques de nos roches entre elles.*

Dans le Tableau I, nous avons rapproché la composition centésimale de nos différentes roches ⁽²⁾.

a. Microdiorite à hornblende et labrador (type Vallée du Lys) du Serrat de Soupère, près Bagnères-de-Luchon.

⁽¹⁾ Voir p. 168.

⁽²⁾ Au-dessous de chaque chiffre relatif à la teneur des différents éléments, nous avons fait figurer en petits caractères le nombre de molécules qu'ils représentent.

b. Microdiorite à hornblende et labrador, type, de la vallée du Lys, éboulis.

c. Microdiorite à hornblende et labrador, type, de la vallée du Lys, Coume de Nère.

d. Labradorite amphibolique à hornblende, type, du Riou Maou, près Luz.

e. Andésite augitique, type, facies volcanique, de l'Arbizon.

f. Diabase intersertale, type, de l'Arbizon.

g. Diabase intersertale à tendance ophitique, de l'Arbizon.

h. Labradorite augitique, type, facies volcanique, du Lac Bleu.

i. Labradorite augitique, terme de passage, du Lac Bleu.

j. Diabase intersertale, type, du Lac Bleu.

k. Andésite augitique à hornblende, augite et andésine, type, de la Piquette deras Lids, près Barèges.

Dans les lignes qui suivent, nous étudierons les rapports chimiques de nos roches successivement d'après la méthode américaine et d'après la méthode de M. Michel Lévy. Nous entrerons dans quelques détails dans l'application de la première, moins bien connue que la seconde du public français; en ce faisant, nous ne croyons pas être inutile au minéralogiste ou au géologue, lecteur non spécialisé, qui consulte un Mémoire de pétrographie.

A. *Méthode de MM. Cross, Iddings, Pirsson, Washington.* — Le Tableau II et le Tableau III sont relatifs à la classification américaine de MM. W. Cross, J. P. Iddings, L. V. Pirsson, H. S. Washington (¹).

Cette classification, comme on le sait, ne s'appuie ni exclu-

(¹) *Quantitative classification of igneous rocks*, Chicago, 1903.

TABLEAU I. — COMPOSITION CENTÉSIMALE.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ² O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ² O	K ² O	H ² O	CO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Somme.
a. Vallée du Lys α.....	63,55 1.059	15,60 133	tr.	5,10 071	3,65 091	4,49 080	2,55 041	2,92 031	1,50	»	0,91 011	0,19 001	100,46
b. Vallée du Lys β.....	59,00 983	15,50 152	tr.	6,20 086	5,95 149	4,08 073	2,54 040	3,08 033	2,00	»	1,03 013	0,18 001	99,56
c. Vallée du Lys γ.....	61,10 1.018	15,60 153	tr.	5,38 073	4,52 143	4,32 077	2,99 047	4,12 044	2,00	»	1,03 013	0,31 002	101,28
d. Riou-Maou.....	56,51 942	17,90 175	0,08 001	5,72 079	5,58 139	8,64 154	2,72 044	0,82 009	0,50	»	0,86 011	0,15 001	99,48
e. Arbizon α.....	51,61 860	19,31 189	tr.	8,93 124	4,35 109	3,83 068	5,37 087	1,90 020	3,12	»	2,17 028	0,64 004	101,23
f. Arbizon β.....	47,81 797	19,10 187	1,35 008	8,45 117	5,10 127	6,88 123	3,57 058	1,98 020	4,00	»	2,43 030	0,63 004	101,30
g. Arbizon γ.....	46,60 777	18,90 185	1,98 012	8,21 114	6,41 160	8,52 152	2,50 040	1,69 018	3,10	»	1,80 023	0,30 002	100,01
h. Lac Bleu α.....	46,25 771	17,70 174	0,48 003	8,50 118	6,29 132	7,53 134	3,82 061	2,80 030	3,65	1,45 033	2,62 033	»	101,09
i. Lac Bleu β.....	45,90 765	16,81 165	tr.	10,40 144	7,23 181	8,91 159	3,97 050	0,39 004	3,65	0,60 014	2,46 031	0,07 001	99,49
j. Lac Bleu γ.....	47,51 792	17,81 175	1,42 009	8,72 121	8,05 201	8,20 146	3,45 055	1,21 013	2,63	»	2,02 025	»	101,02
k. Piquette deras Lids...	47,25 787	18,80 184	tr.	8,20 114	4,81 120	9,05 162	2,62 042	2,38 026	4,10	»	2,34 029	0,50 004	100,05

sivement sur la composition minéralogique de la roche comme notre classification française, ni sur sa seule composition chimique. Elle se base sur des notions qui procèdent de ces deux ordres de considérations. Elle se base sur ce que les auteurs appellent la *standard mineral composition* ou composition minéralogique virtuelle: ils l'opposent à la *actual mineral composition* ou composition minéralogique réelle, telle qu'elle résulte de l'examen d'une plaque mince.

S'appuyant principalement sur ce fait qu'un magma de composition chimique déterminée peut, suivant les conditions de refroidissement, donner naissance à des roches de compositions minéralogiques très différentes, MM. Cross, Iddings, Pirsson et Washington ne veulent pas tenir compte de cette composition minéralogique actuelle; ils considèrent au contraire la composition minéralogique virtuelle, qu'ils font découler de la composition chimique centésimale par une série de règles tirées de notre connaissance des associations minéralogiques habituelles dans les roches.

Pour calculer facilement cette composition minéralogique virtuelle, on traduit tout d'abord la teneur centésimale de chacun des éléments en nombre de molécules. Cette transformation se fait sans difficulté en divisant le poids de l'élément par son poids moléculaire; les auteurs l'ont encore simplifiée en établissant à la fin de leur volume des Tableaux qui fournissent ces nombres par une simple lecture.

Ceci posé, quels sont les procédés appliqués pour parvenir à cette composition minéralogique virtuelle? Nous nous bornons à exposer ceux qui s'appliquent pour le calcul de nos roches :

1° On commence par saturer l'anhydride phosphorique de la quantité suffisante de chaux. 1^{mol} de P^2O^5 s'allie à 3^{mol} de CaO pour former 1^{mol} d'apatite ($P^2O^5.3CaO$).

2° L'oxyde de titane est combiné molécule à molécule avec l'oxyde ferreux pour former de l'ilménite ($\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$).

3° L'oxyde ferrique est uni à la quantité suffisante d'oxyde ferreux pour faire de la magnétite ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO}$).

4° La totalité de la potasse est combinée aux quantités nécessaires d'alumine et de silice pour donner de l'orthose ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$).

5° De même pour la soude avec laquelle on forme de l'albite ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$).

6° On unit ensuite molécule à molécule ce qui reste de la chaux et ce qui reste de l'alumine, et, avec ce qu'il faut de silice, on fait de l'anorthite ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Deux cas peuvent se présenter dans cette opération :

- a. L'alumine est en excès; on en fait du corindon (Al_2O_3);
- b. La chaux est en excès; on la combine avec des quantités suffisantes d'oxyde ferreux et de magnésie (ces deux derniers étant pris proportionnellement à leurs quantités respectives résiduelles) d'après la formule d'un métasilicate que l'on rapproche du diopside [$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + (\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$].

7° Nous ne nous trouvons plus en présence que de silice, magnésie et oxyde ferreux. Plusieurs cas s'offrent à nous :

- a. La silice est en quantité suffisante pour saturer la magnésie et l'oxyde ferreux sous forme de métasilicate. On fait alors de l'hypersthène [$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$] et le reste de la silice est calculé comme quartz (SiO_2).

- b. La silice est en quantité insuffisante pour saturer la magnésie et l'oxyde ferreux sous forme de métasilicate. On calcule alors une partie de la silice sous forme d'orthosilicate et l'on fait de l'olivine [$2(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$] et de l'hypersthène [$(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$].

- c. La silice est en quantité insuffisante pour saturer la magnésie et l'oxyde ferreux sous forme d'orthosilicate. Le

nombre de molécules de silice qui manque est pris au détriment de l'albite et, à la place de ce dernier minéral seul, on calcule deux minéraux : albite ($\text{Na}^2\text{O} \cdot \text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 6\text{SiO}^2$) et néphéline ($\text{Na}^2\text{O} \cdot \text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 2\text{SiO}^2$) suivant la proportion convenable.

Nous pouvons dès maintenant faire quelques remarques relatives à la concordance de la composition minéralogique virtuelle et de la composition minéralogique réelle. La comparaison de notre Tableau II et de la description que nous avons donnée de nos différentes roches, montre des divergences notables entre ces deux compositions.

Le corindon, la néphéline et l'hypersthène ne se constatent en particulier jamais dans nos roches comme minéraux réels; le quartz n'existe dans quelques-unes d'entre elles que comme minéral tout à fait accidentel; l'olivine n'est soupçonnable dans quelques autres qu'à l'état de cristaux décomposés, reconnaissables à leur forme, et, en tout cas, elle n'entrait pas dans la roche suivant l'importante proportion qu'indique la composition minéralogique virtuelle.

A côté de cela, constatons que des minéraux qui jouent dans notre série un rôle prépondérant, tels que la hornblende, ne sont pas représentés dans cette composition minéralogique virtuelle de par la forme même de son calcul.

Constatons, en outre, que la roche virtuelle est beaucoup plus riche en éléments feldspathiques que la roche véritable. On attribue, en effet, à ces derniers minéraux la totalité des alcalis et une partie de l'alumine qui entraient dans la composition des métasilicates (hornblende et augite). La roche virtuelle paraîtra donc beaucoup plus riche en éléments blancs, c'est-à-dire beaucoup plus leucocrate, que ne l'est la roche actuelle.

Le principe de la composition minéralogique virtuelle, une fois admis, le remplacement de minéraux, dont la com-

TABLEAU II. — COMPOSITION MINÉRALOGIQUE VIRTUELLE.

	QUANT.	COBALTOM.	ORTHOSE.	ALBITE.	ANORTHITE.	NÉPHÉLINE.	DIOPSIDE.	HYPERSTHÈNE.	OLIVINE.	MAGNÉSITE + LIMONITE.	APATITE.	FELDSPATH TOTAL.	TEKTA en anorthite du feldspath total.	SOMME des éléments blancs.	SOMME des éléments colorés.
a. Vallée du Lys α...	19,32	0,41	17,24	21,48	21,41	»	»	17,02	»	1,67	0,34	60,13	35,6	79,86	19,03
b. Vallée du Lys β...	10,98	0,92	18,35	20,96	19,46	»	»	24,54	»	1,98	0,34	58,77	34,0	70,67	26,86
c. Vallée du Lys γ...	10,04	»	24,46	24,63	17,24	»	2,03	18,49	»	1,98	0,67	66,33	26,1	76,37	23,18
d. Rion-Maou	8,70	»	5,00	23,06	33,92	»	6,55	19,56	»	1,90	0,34	61,98	55,0	70,68	28,35
e. Arbizon α	»	2,65	11,12	15,59	15,57	»	»	0,80	16,83	4,26	1,34	72,88	21,4	71,93	23,33
f. Arbizon β	»	»	11,12	30,39	30,30	»	0,46	1,13	15,95	6,42	1,34	71,81	42,3	71,81	25,30
g. Arbizon γ	»	»	10,01	20,96	35,31	»	4,32	5,98	13,35	6,28	0,67	66,28	53,5	66,28	30,60
h. Lac Bleu α	»	»	16,68	20,51	23,07	6,24	4,11	»	18,65	5,72	»	60,26	38,3	66,50	28,48
i. Lac Bleu β	»	»	2,22	26,20	30,86	»	7,12	5,71	17,43	4,71	0,34	59,28	52,0	59,28	35,31
j. Lac Bleu γ	»	»	7,23	24,63	29,75	2,27	9,00	»	19,64	5,89	»	61,61	48,4	63,88	34,53
k. Piquette deras Lids.	»	»	14,46	16,77	32,25	2,81	7,79	7,83	8,48	4,41	1,34	66,32	50,0	66,32	29,85

position chimique est très variable dans les différentes roches, par des minéraux à composition chimique plus constante s'imposait. Toutefois, plusieurs se demandent s'il était véritablement préférable de substituer à la composition minéralogique actuelle de la roche, qui est quelque chose d'objectif immédiatement constatable, de substituer une composition créée de toutes pièces avec des minéraux dont la composition chimique est enfermée dans des cadres étroits qui, pour quelques-uns, correspondent mal avec les analyses connues.

Cependant, il est impossible de nier que cette façon d'opérer n'ait d'importants avantages. En particulier, elle met en évidence un fait intéressant; sauf pour le quartz (et encore a-t-on observé du quartz dans les roches du dôme de la Montagne Pelée), la composition minéralogique virtuelle représente en général assez bien ce que serait la composition minéralogique de la roche par fusion purement ignée.

Quoi qu'il en soit et ceci posé, la composition minéralogique virtuelle étant dès lors déterminée et le nombre de molécules de chaque minéral étant connu, on établit ensuite la composition centésimale en poids de chacun des minéraux. Cette opération se fait en multipliant le nombre de molécules par le poids moléculaire du minéral; la simple lecture de Tableaux très commodes donnés dans l'Ouvrage américain permet encore d'opérer sans calcul.

Le Tableau II nous montre la composition minéralogique virtuelle quantitative de nos roches; nous y avons joint plusieurs indications supplémentaires. Ce sont d'abord celle du feldspath total et celle de la teneur en anorthite du feldspath total; cette dernière fournit une notion utile de l'acidité moyenne du feldspath. Nous y avons ajouté deux colonnes, l'une donnant la somme des éléments blancs, et l'autre la somme des éléments colorés. Ces derniers

chiffres sont intéressants à connaître en tout état de cause ; de plus, ils servent de base à la classification américaine, comme nous allons le voir dans les lignes qui suivent.

MM. Cross, Iddings, Pirsson et Washington rangent la totalité des roches en cinq classes, segmentées chacune en un certain nombre d'ordres, qui se divisent en rangs, subdivisés eux-mêmes en subrang.

La classe d'une roche est déterminée par ce qu'ils appellent le rapport $\frac{\text{sal}}{\text{fer}}$, où *sal* représente la somme des éléments blancs en poids (quartz, feldspaths, néphéline, corindon), et *fer* la somme des éléments colorés en poids (diopside, hypersthène, olivine, apatite, magnétite, ilménite) ⁽¹⁾. Le terme *sal* est formé par la première lettre du mot silice et les deux premières lettres du mot alumine ; *fer* est constitué avec les premières lettres de ferro-magnésien. Les auteurs de cette classification ont choisi les rapports $\frac{7}{1}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{1}{7}$, comme limites des différentes classes. Nos roches, pour lesquelles le rapport $\frac{\text{sal}}{\text{fer}}$ est compris entre $\frac{7}{1}$ et $\frac{5}{3}$, se rangent dans la deuxième classe.

Le rapport $\frac{\text{sal}}{\text{fer}}$, mesurant la proportion relative des éléments blancs et des éléments colorés, apprécie mathématiquement la richesse de la roche en éléments ferro-magnésiens ; l'estimation de cette richesse, faite autrefois sur le vu d'une plaque mince, était traduite par les épithètes hololeucocrates, leucocrates, mésocrates, mélanocrates et holomé-

⁽¹⁾ Il est bien entendu que, dans cette énumération de minéraux et dans les explications qui suivent, nous ne généralisons pas. Nous nous bornons à rendre compte de l'application de la méthode en nous limitant strictement à nos roches.

lanocrates. Certains pétrographes français ont proposé d'établir une concordance entre les cinq classes américaines et ces cinq adjectifs. Nous constatons que les roches de notre série pyrénéenne, d'après le rapport $\frac{\text{sal}}{\text{iem}}$, pourraient être qualifiées de leucocrates, tandis que l'examen au microscope ne nous permet, pour aucune, de les situer dans ce groupe. En réalité, elles sont à placer dans le groupe mésocrate. Ce que nous avons dit plus haut de l'enrichissement en éléments blancs, d'après la marche même du calcul de la composition minéralogique virtuelle, qui leur attribue la totalité de l'alumine, nous permettait de prévoir ce fait.

Les ordres sont définis par le rapport $\frac{Q \text{ (ou N)}}{F}$, où Q représente le poids du quartz, F celui du feldspath total et N celui de la néphéline. Les valeurs limites sont les mêmes que pour les ordres; il en sera encore ainsi pour les rangs et les sub-rangs. Nos roches se rangent pour la plupart dans l'ordre 5; trois seulement figurent dans l'ordre 4.

Les rangs sont exprimés par le rapport $\frac{K^2O + Na^2O}{CaO} \cdot K^2O$ et Na^2O représentent le nombre de molécules de potasse et de soude; CaO est le nombre de molécules de chaux contenue dans l'anorthite. Ce rapport apprécie en somme l'acidité des feldspaths. Nos roches se répartissent à peu près également dans les rangs 3 et 4; une seule trouve place dans le rang 2.

Les subrangs sont exprimés par $\frac{K^2O}{Na^2O}$, rapport du nombre de molécules de potasse au nombre de molécules de soude. Notre série pyrénéenne oscille entre les subrangs 3 et 4.

Dans le Tableau III, nous donnons les numéros des ordres, classes, rangs et subrangs de nos différentes roches; nous indiquons à côté le nom, plus ou moins euphonique, qu'elles

TABLEAU III. — MÉTHODE DE MM. CROSS, IDINGS, PIRSSON ET WASHINGTON.

	Classe.	$\frac{\text{Fe}}{\text{Si}}$	$\frac{\text{Quartz, néphéline}}{\text{Feldspath}}$	ORDRE.	$\frac{\text{CaO}}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$	RANG.	$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$	SUBRANG.	
a. Vallée du Lys α ...	Dosalane	4,19	II 0,31	Anstrare	IV	Tonalase	III 0,76	Hartzose	III
b. Vallée du Lys β ...	»	2,63	» 0,18	»	»	»	» 0,82	»	»
c. Vallée du Lys γ ...	»	3,30	» 0,161	»	»	»	» 0,94	»	»
d. Riou-Maou.....	»	2,49	» 0,141	Germanaré	V	Hessase	IV 0,20	Hessose	»
e. Arbizon α	»	3,10	» 0,00	»	»	Monzonase	II 0,23	Akerose	IV
f. Arbizon β	»	2,84	» 0,00	»	»	Andase	III 0,34	Andose	IV
g. Arbizon γ	»	2,12	» 0,00	»	»	Hessase	IV 0,45	Hessose	III
h. Lac Bleu α	»	2,33	» 0,103	»	»	Andase	III 0,49	Andose	IV
i. Lac Bleu β	»	1,68	» 0,00	»	»	Hessase	IV 0,08	Hessose	III
j. Lac Bleu γ	»	1,85	» 0,03	»	»	»	» 0,23	»	»
k. Piquetto deras Lids.	»	2,22	» 0,02	»	»	Andase	III 0,62	Shoshonose	»

possèdent dans la nouvelle nomenclature américaine, qui suit pas à pas la classification.

Nous avons vu que des limites nettes avaient été prises pour les rapports $\frac{\text{sal}}{\text{fem}}$, $\frac{Q}{F}$, etc., en vue d'établir les classes, ordres, etc. Ces coupures sont susceptibles d'éloigner dans la classification deux roches chimiquement très proches; inversement deux roches rangées sous le même nom peuvent présenter des différences chimiques considérables. Pour ces raisons nous estimons utile, dans l'étude d'une série pétrographique, d'envisager, à côté des chiffres qui marquent les divisions, les valeurs numériques des différents rapports. C'est ce que nous avons fait dans notre Tableau III.

Par exemple la considération du rapport caractéristique des ordres, $\frac{Q}{F}$, nous permet de séparer des autres les roches du type Riou-Maou et du type Vallée du Lys. En effet ce rapport y est égal à 0,31, 0,18, 0,16, 0,14, tandis qu'il ne s'élève qu'à 0,10, 0,03, 0,02, 0,00 pour les autres. Par ce moyen nous pouvons donc établir deux groupes qui concordent parfaitement avec les types minéralogiques que nous avons distingués par la présence ou l'absence d'amphibole. Cette analogie des roches de Riou-Maou et de la Vallée du Lys et leur dissemblance avec le reste de la série eussent été masquées par la considération seule des numéros des divisions.

Les rapports caractéristiques de la classification américaine apprécient en définitive tous, sous une forme plus ou moins détournée, les quantités relatives des différents minéraux qui entrent dans la composition minéralogique virtuelle. Nous pouvons donc aussi bien considérer ces minéraux qualitativement et quantitativement en eux-mêmes que les rapports de minéraux ou de groupes de minéraux les uns aux autres;

les indications seront du même ordre puisque l'existence de ces minéraux et leur teneur sont uniquement fonctions de la composition chimique.

La considération de la présence ou de l'absence de quartz virtuel ou bien celle de l'absence ou de la présence corrélatives d'olivine virtuelle nous permet immédiatement de faire deux grandes coupures.

LES ROCHES A QUARTZ VIRTUEL appartiennent au type Vallée du Lys et au type Riou-Maou. Elles se rangent dans les ordres 4 et 5. Nos autres roches se classent aussi dans cet ordre 5, mais celles de la Vallée du Lys et de Riou-Maou ont des rapports caractéristiques plus élevés.

Cette division en deux grands groupes n'est pas factice; elle cadre bien avec ce que nous a appris l'étude microscopique. De plus un coup d'œil jeté sur la composition chimique nous montre que les roches à quartz virtuel ont une teneur en silice variant de 63,55 à 56,51, tandis que les autres oscillent de 51,61 à 45,90. C'est là un caractère très net mis en lumière par la considération de la composition minéralogique virtuelle et qui serait absolument voilé par la considération unique du numéro de l'ordre. Il est vrai que, si au lieu de ce simple numéro on envisage les valeurs numériques du rapport caractéristique de l'ordre, on arrive à établir une division satisfaisante.

Cependant constatons dans notre Tableau III que les roches Lac Bleu α , Lac Bleu γ et Piquette deras Lids, d'après cette considération de rapport caractéristique, sont plus proches de nos roches à quartz virtuel que les trois roches de l'Arbizon et celle du Lac Bleu β , dont le rapport caractéristique d'ordre est 0. Cela tient à ce que d'après leur composition chimique elles contiennent de la néphéline virtuelle qui vient se substituer au quartz dans le numérateur du rapport caractéris-

tique $\frac{Q}{F}$. Ainsi donc, deux roches étant données, la présence du quartz virtuel dans l'une, qui implique la richesse en silice, et la présence de néphéline virtuelle dans l'autre, qui implique l'indigence en silice, tendent à nous les faire ranger quoique très dissemblables dans une même division (ordre V).

Nous n'ignorons pas que ce sont d'autres points à mettre en relief qui ont conduit les auteurs américains à l'établissement de ce rapport $\frac{\text{quartz ou néphéline}}{\text{feldspath}}$, mais cela doit nous mettre en garde contre une application brutale et sans discernement de leur classification.

Revenons à nos roches de la Vallée du Lys et de Riou-Maou. Les premières sont plus siliceuses que la dernière qui se trouve être plus riche en chaux (caractérisée par la basicité plus grande du feldspath dominant et par la présence d'une quantité assez grande de diopside virtuel) et se place dans le rang 4, tandis que les autres se placent dans le rang 3.

L'alumine, variable en petite quantité dans l'ensemble de notre série des Pyrénées, se manifeste par la présence de corindon virtuel dans les roches α et β de la Vallée du Lys; ce corindon virtuel a pu être formé par suite de la pauvreté de ces roches en chaux qui a exigé peu de Al_2O_3 pour l'anorthite virtuelle. C'est cette même raison qui a donné naissance à du corindon virtuel dans la roche α de l'Arbizon.

La teneur des alcalis est moindre à la Vallée du Lys qu'au Riou-Maou : la potasse est subordonnée à la soude dans la totalité de nos roches sauf dans le type Vallée du Lys. Le rapport $\frac{K_2O}{Na_2O}$ des subrangs nous montre l'albite virtuelle prépondérante sur l'orthose virtuelle mais n'est pas suffisamment constant pour caractériser notre série, comme il le fait, d'après certains auteurs, dans d'autres séries régionales : ce

rapport n'est assez constant que pour l'ensemble des roches de la Vallée du Lys et celles de l'Arbizon.

Enfin la magnésie est toujours subordonnée aux oxydes de fer. Ces derniers, peu abondants dans la Vallée du Lys et au Riou-Maou, s'élèvent jusqu'à 10 environ au Lac Bleu.

Une subdivision nette est assez difficile à établir dans les ROCHES SANS QUARTZ VIRTUEL. L'insuffisance de silice, qui est mise aussi en évidence par la présence d'olivine virtuelle, s'accroît encore pour deux roches du Lac Bleu et la roche de la Piquette qui renferment de la néphéline virtuelle. La chaux non feldspathisable s'observe sous forme de diopside virtuel assez abondant, sauf pour une roche de l'Arbizon. Ce groupe des roches sans quartz virtuel est beaucoup plus homogène encore que le précédent.

B. *Méthode de M. Michel Lévy.* — Maintenant que nous avons mis en œuvre la méthode américaine, cherchons à appliquer la méthode de M. Michel Lévy ⁽¹⁾, pour laquelle nous serons plus bref puisqu'elle est beaucoup mieux connue du public français.

On sait que cette méthode est basée sur la considération, dans un magma, des fumerolles alcalines, alumineuses et siliceuses, d'une part, et de la scorie ferro-magnésienne, d'autre part.

Les éléments des fumerolles et leurs rapports sont caractérisés par les paramètres Φ et r ; la scorie est caractérisée par les paramètres C' et Ψ .

Φ est le rapport de la silice pour 100 des éléments blancs aux alcalis :

$$\Phi = \frac{S \text{ sal}}{2k + 3n}$$

⁽¹⁾ *Contribution à l'étude des magmas chimiques dans les principales séries éruptives françaises (Bulletin des services de la Carte géologique de la France, n° 92 et 96, Paris, 1903).*

où

S sal = somme des poids de la silice relative aux éléments blancs,

k = poids de la potasse,

n = poids de la soude;

r est le rapport de la potasse à la soude :

$$r = \frac{k}{n}.$$

C' est le rapport de la chaux non feldspathisable aux éléments ferro-magnésiens

$$C' = \frac{c'}{x},$$

où

c' = poids de la chaux non feldspathisable,

x = poids des éléments ferro-magnésiens.

Enfin Ψ est le rapport des oxydes de fer à la magnésie

$$\Psi = \frac{f}{m},$$

où

f = poids des oxydes de fer,

m = poids de la magnésie.

Les valeurs de ces différents paramètres se rangent dans un certain nombre de groupes auxquels l'auteur a attribué des noms : pour Φ (éléolitique, alcalino-syénitique, etc.); pour r (persodique, mégasodique, etc.); pour C' (méga-alumineux, micro-alumineux et aussi ægyrinique quand la roche contient de la soude non feldspathisable), et pour Ψ (magnésien, ferro-magnésien et ferrique). Dans le Tableau IV nous avons calculé pour nos roches la valeur de ces paramètres et indiqué les noms qui s'y appliquent.

D'après la considération du paramètre Φ nos roches se

TABLEAU IV. — MÉTHODE DE M. MICHEL LÉVY.

Φ.	r.	Méga- potassique	C.	Méga- alumineux	Ψ.
a. Vallée du Lys α ... 4,04	V	Méga- potassique	0,00	Méga- alumineux	I 1,4 Magnésien
b. Vallée du Lys β ... 3,2	IV	»	0,00	»	» 1,0 »
c. Vallée du Lys γ ... 2,9	III	»	0,02	»	» 1,2 »
d. Riou-Maou 4,3	V	Méga- sodique.	0,05	»	» 1,0 »
e. Arbizon α 2,2	II	»	0,00	»	» 2,1 »
f. Arbizon β 2,8	III	Méso- sodique	0,00	»	» 1,92 »
g. Arbizon γ 3,6	V	Méso- potassique	0,03	»	» 1,6 »
h. Lac Bleu α 2,3	III	»	0,03	»	» 1,4 »
i. Lac Bleu β 3,3	IV	Persodique	0,05	»	» 1,4 »
j. Lac Bleu γ 2,7	III	Méso- sodique	0,06	Méso- alumineux	II 1,3 »
k. Piquette deras Lids. 2,8	»	Méga- potassique	0,06	»	» 1,7 »

placent, pour la plus grande partie, dans le groupe granitodioritique, le groupe alcalinogranitique et le groupe syénitique. Les trois roches du type Vallée du Lys ont pour Φ des valeurs très voisines. Il est à remarquer qu'aucune de nos roches ne fait partie du groupe éléolitique, tandis que la méthode américaine nous avait fait calculer de la néphéline pour trois roches.

Le rapport $\frac{k}{n}$ ne montre pas une grande constance dans notre série; il varie de 0,12 (Lac Bleu β) à 1,6 (vallée du Lys β), oscillant du groupe mégasodique au groupe mégapotassique.

Relativement à C' , toutes nos roches se rangent dans le groupe mégaalumineux, sauf deux qui se rangent dans le groupe mésoalumineux (Piquette deras Lids et Lac Bleu γ), qui correspondent aux séries microcalcique et mésocalcique.

La totalité de nos roches, d'après la valeur de Ψ , se placent dans le groupe magnésien; ce paramètre met en lumière la richesse en fer des roches de l'Arbizon vis-à-vis de l'ensemble de celles de la vallée du Lys, relativement plus magnésiennes, et vis-à-vis de celles du Lac Bleu, qui occupent une situation intermédiaire.

Dans une Note récente, M. Michel Lévy (1) préconise l'adjonction, aux paramètres qui caractérisent la scorie, du paramètre U (égal au rapport des oxydes de fer à la chaux totale)

$$U = \frac{f}{c + c'}$$

c = poids de la chaux feldspathisable.

Il signale en outre l'utilité des nombres $2k + 3n$ pour 100

(1) *Sur l'existence de paramètres capables de caractériser les magmas d'une famille de roches éruptives (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXLIV, 18 mars 1907, p. 598, Paris).*

	ÉLÉMENTS BLANCS.						ÉLÉMENTS COLORÉS.						U.	$\frac{An}{Ab+An}$ p. 100.	$\frac{2A+3H}{p. 100.}$		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO.	Na ₂ O.	K ₂ O	SOMME.	SiO ₂	Fe ² O ₃ +FeO.	MgO	CaO.	Austite +TiO ₂	SOMME.					
a. Vallée du Lys α...	68,3 51,49	19,5 13,66	5,4 4,30	3,2 2,55	3,6 2,92	100,0 78,86	17,5 9,06	26,6 5,10	19,1 3,65	» »	6,0 1,25	99,2 18,06	1,69	0,5	13,49		
b. Vallée du Lys β...	64,5 45,66	22,1 15,50	5,5 3,90	3,6 2,54	4,4 3,08	99,8 70,68	50,0 13,31	22,6 6,20	21,7 5,95	» »	5,0 1,37	99,3 27,46	1,58	0,48	13,78		
c. Vallée du Lys γ...	66,0 50,04	20,3 15,60	4,5 3,45	3,8 2,90	5,4 4,12	100,0 76,12	48,0 11,06	23,3 5,38	19,5 4,52	2,2 0,50	7,3 1,70	100,3 23,16	1,24	0,41	16,91		
d. Riou-Maou.....	60,0 42,42	25,3 17,90	9,7 6,85	3,7 2,72	1,2 0,82	100,0 70,71	50,0 14,09	10,5 5,80	19,9 5,58	5,7 1,60	4,2 1,20	100,3 28,27	0,67	0,59	9,80		
e. Arbizon α.....	60,5 45,24	25,8 19,31	4,2 3,15	7,2 5,37	2,5 1,90	100,2 74,97	27,3 6,37	38,5 8,93	18,6 4,35	» »	15,1 3,51	99,5 23,16	2,33	0,25	19,91		
f. Arbizon β.....	57,9 41,40	26,7 19,10	8,5 6,10	5,0 3,57	2,8 1,98	100,8 72,15	27,0 6,41	38,3 8,70	20,1 5,10	0,1 0,10	14,9 3,77	100,7 25,08	1,42	0,5	11,67		
g. Arbizon γ.....	54,4 36,12	28,5 18,90	10,3 7,10	3,8 2,50	2,5 1,69	99,5 66,31	34,3 10,48	33,2 10,19	21,0 6,41	3,1 1,05	8,1 2,17	100,0 30,60	1,9	0,62	9,88		
h. Lac Bleu α.....	56,2 37,41	26,7 17,70	6,9 4,65	5,8 3,82	4,2 2,80	99,8 66,41	31,8 8,81	32,5 8,98	22,7 6,29	3,6 1,00	9,5 2,62	100,1 27,70	1,19	0,5	16,06		
i. Lac Bleu β.....	55,0 32,76	28,3 16,81	10,5 6,20	5,4 3,07	0,7 0,39	99,9 59,86	37,5 13,11	29,3 10,40	20,5 7,23	4,9 1,75	7,9 2,80	100,1 33,32	1,13	0,53	9,99		
j. Lac Bleu γ.....	55,2 35,40	28,0 17,81	9,4 6,00	5,4 3,15	1,9 1,21	99,9 63,87	35,0 12,11	29,7 10,11	23,3 8,05	6,4 2,20	5,8 2,02	100,2 31,62	1,22	0,67	12,77		
k. Piquette d'eras Lids.	54,0 35,97	28,2 18,80	9,8 6,50	3,9 2,62	3,6 2,38	99,5 66,27	37,8 11,28	27,5 8,20	16,1 4,18	6,4 1,9	12,3 3,68	100,1 29,87	0,9	0,61	12,62		

TABLEAU V. — MÉTHODE DE M. LÆWINSON-LESSING.

	R ² O.	RO.	R ² O+RO.	R ² O ² .	SiO ² .	COEFFI- CIENT d'acidité.		FORMULE.
a. Vallée du Lys α	73	242	314	153	1070	2,77	Acide	2,05 RO × R ² O ³ × 7,00 SiO ²
b. Vallée du Lys β	73	298	371	152	996	2,39	Neutre	2,40 RO × R ² O ³ × 6,45 SiO ²
c. Vallée du Lys γ...	91	295	386	153	1021	2,41	»	2,49 RO × R ² O ³ × 6,60 SiO ²
d. Rion-Maon.....	53	372	425	176	933	2,00	Basique	2,41 RO × R ² O ³ × 5,41 SiO ²
e. Arhizon α.....	107	301	408	189	888	1,83	»	2,16 RO × R ² O ³ × 4,71 SiO ²
f. Arhizon β.	78	367	445	195	837	1,62	»	2,27 RO × R ² O ³ × 4,33 SiO ²
g. Arhizon γ.....	58	426	481	197	800	1,49	»	2,45 RO × R ² O ³ × 4,06 SiO ²
h. Lac Bleu α.....	91	384	475	177	804	1,60	»	2,67 RO × R ² O ³ × 4,53 SiO ²
i. Lac Bleu β.....	54	481	538	165	796	1,54	»	3,26 RO × R ² O ³ × 4,81 SiO ²
j. Lac Bleu γ... ..	68	468	536	184	817	1,70	»	2,90 RO × R ² O ³ × 4,43 SiO ²
k. Piquette de ras Lids..	68	396	464	184	816	1,60	»	2,53 RO × R ² O ³ × 4,43 SiO ²

et An pour 100 (égal à $\frac{An}{Ab + An}$) qui est la teneur en anorthite du plagioclase total. Dans le Tableau IV bis, nous donnons ces différents nombres.

M. Michel Lévy estime que, dans une même série de roches éruptives, « tout se passe comme si deux magmas à propriétés très différentes (scorie, fumerolle) se mélangeaient en diverses quantités en conservant chacun d'une façon assez stable la proportion relative de ses divers éléments ».

Dans ce Tableau IV bis nous avons scindé la composition chimique centésimale de nos roches en deux parties : l'une est relative aux éléments blancs (fumerolle de M. Michel Lévy), l'autre aux éléments colorés (scorie de M. Michel Lévy); ce sont les chiffres en petits caractères. Au-dessus (caractères ordinaires) nous avons calculé le pourcentage des différents éléments (SiO^2 , Al^2O^3 , etc.) dans la totalité des éléments blancs et dans la totalité des éléments ferro-magnésiens (1).

D'après les vues de M. Michel Lévy, ces nombres, dans une même série éruptive, sont très sensiblement voisins. Notre série pyrénéenne n'est pas assez homogène pour que l'on puisse y constater ce fait.

Enfin, dans le Tableau V, nous avons calculé, pour nos roches, les formules de M. Læwinson-Lessing; bornons-nous à constater qu'elles sont toutes parmi les *roches basiques*, sauf les roches du type Vallée du Lys, dont deux sont des *roches neutres* et la troisième une *roche acide*.

(1) Les nombres contenus dans ce Tableau sont, en somme, les éléments des triangles normaux de M. Michel Lévy (S_{sal} , K, N, S_p , F, M, C', et aussi S_{sal} pour 100 et c').

§ 2. — *Comparaison avec quelques autres roches des Pyrénées.*

M. Pisani a fait l'analyse de deux granites que nous avons recueillis, l'un dans la région du Lac Bleu et l'autre dans celle de l'Arbizon. Nous en donnons les résultats ci-dessous :

	SiO ² .	Al ² O ³ .	Fe ² O ³ .	FeO.	MgO.	CaO.	Na ² O.	K ² O.	H ² O.	H ² O ² .	SOMME.
Granite, Lac Bleu.	75,00	12,40	1,90	1,24	0,66	0,73	3,73	4,80	0,12	"	100,58
" Arbizon.	69,10	14,80	1,64	1,74	2,18	3,06	2,72	4,08	1,00	0,41	100,73

Malheureusement le petit massif de granite du nord du Lac Bleu et les pointements granitiques de l'Arbizon ont subi des influences métamorphiques, et il est impossible d'y recueillir des échantillons ayant échappé à ces actions. Le granite du Lac Bleu est un granite à biotite et muscovite avec un peu de grenat; celui de l'Arbizon est légèrement amphibolique. Par suite, on ne peut déduire rien de probant de la comparaison de leurs rapports caractéristiques et de leurs paramètres (nous les indiquons ci-contre) avec ceux de nos roches filoniennes.

Les analyses publiées des roches éruptives des Pyrénées portent sur les granites, les ophites, les lherzolites, les roches basiques qui accompagnent ces dernières et les roches endomorphes. Nos roches filoniennes ne peuvent être comparées qu'aux ophites.

Les autres sont géographiquement trop lointaines des roches que nous étudions dans ce Mémoire pour que nous en tenions compte. Nous donnons ci-contre les rapports caractéristiques et les paramètres magmatiques des ophites; la composition chimique en a été donnée page 60.

Par comparaison avec le Tableau III, on voit, pour ne parler que de la méthode américaine, que l'ophite de Pouzac entre dans la même division hessose que la roche du Riou-Maou, de l'Arbizon γ et du Lac Bleu β et γ . Elle ne diffère guère de ces trois dernières que structurellement.

L'ophite de Sauveterre et celle du Val d'Enfer diffèrent de nos roches par la classe et aussi par l'ordre. Les rangs et les subrangs sont les mêmes.

A ce qui précède se borne ce que l'on peut dire actuellement sur les rapports chimiques de nos roches filoniennes avec les autres roches éruptives des Pyrénées. Il eût été intéressant de rechercher leurs relations magmatiques. Outre qu'une telle étude sort du cadre de notre travail, les documents manquent pour l'exécuter; cette étude d'ensemble ne pourra être entreprise que lorsqu'une série de monographies aura fait connaître, les unes après les autres, les diverses roches éruptives pyrénéennes.

CHAPITRE IX.

CLASSIFICATION EMPLOYÉE.

Nous avons naturellement adopté la classification pétrographique française. Dégagée de toute préoccupation chimique et de toute hypothèse génétique et basée uniquement sur des considérations minéralogiques, elle nous a paru s'adapter mieux que toute autre à l'étude de nos roches. Après avoir dénommé nos roches d'après les principes de MM. Fouqué et Michel Lévy, à leur exemple, nous y avons établi des divisions basées sur les phénocristaux.

L'état minéralogique actuel d'une roche est fonction et de la nature du magma qui a commencé à se solidifier (composition chimique de ce magma) et des diverses vicissitudes

subies par lui jusqu'au moment où s'est trouvé formé l'échantillon considéré (action des fumerolles, de la pression, du mode de gisement, etc.) ⁽¹⁾. Cet échantillon porte l'empreinte de toutes ces actions. Notre classification s'exerce précisément sur cet état minéralogique actuel qui est la résultante de tout le passé de la roche et qui porte écrite en lui la totalité de son histoire.

Le grief important que l'on est très justement en droit de lui faire réside en ce qu'elle est exclusivement qualitative et qu'elle ne donne pas une notion de *quantité*. Pour y remédier on a proposé l'adjonction, au nom de la roche, d'épithètes (hololeucocrates, leucocrates, etc.) appréciant la teneur en éléments colorés; on peut ainsi resserrer les divisions des grands groupes parfois un peu lâches et leur permettre de mieux cadrer avec la composition chimique des roches qui y figurent. C'est ce que nous avons fait dans l'examen de nos différentes roches.

A cause de l'importance et de la diffusion des Ouvrages de M. H. Rosenbusch, il nous a paru, en outre, intéressant de rechercher la place occupée par nos roches dans sa classification ⁽²⁾.

On sait que cette dernière établit dans les roches éruptives trois grandes divisions basées sur leur situation géologique. Ce sont les roches de profondeur (Tiefengesteine), les roches filoniennes (Ganggesteine) et les roches d'épanchement (Ergussgesteine). Quoique nos roches se trouvent exclusivement sous la forme filonienne, c'est évidemment dans les deux dernières divisions qu'il faut chercher à les placer.

⁽¹⁾ Nous passons sous silence les actions éventuelles dues au métamorphisme et à la décomposition.

⁽²⁾ *Elemente der Gesteinslehre*, 2^e édition, Stuttgart, 1901, passim. — *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine*, 4^e édition, vol. II, 1^{re} Partie, Stuttgart, 1907, passim.

Disons tout de suite que les roches du Lac Bleu, de l'Arbizon et de la Piquette deras Lids sont à classer dans la dernière division. Les échantillons les plus cristallins du Lac Bleu et de l'Arbizon se placent sans conteste parmi les *diabase*, les échantillons vitreux parmi les *augitporphyrite*, et la plupart des échantillons intermédiaires parmi les *diabasporphyrite*. La roche de la Piquette deras Lids est plutôt à rapprocher des *hornblendebasalte*.

M. H. Rosenbusch a placé lui-même dans ses *dioritporphyrite*, qui font partie de ses *Ganggesteine*, roches filoniennes, la roche de la vallée du Lys, et il l'a assimilée à la *Vintlit* (Pichler) du Tyrol (¹). Il remarque que par ses caractères mélanocrates elle se rapproche du groupe des lamprophyres; cette observation était nécessaire pour légitimer la présence dans une même famille, celle des *dioritporphyrite*, de notre roche et de roches à caractères si différents, telles que la dacite de Kis Sebes, les roches laccolitiques des Henry Mountains et le porphyre bleu de l'Estérel:

Cette famille des *dioritporphyrite* et notre famille des microdiorites sont en effet l'une et l'autre très étendues et, il faut bien le dire, très hétérogènes.

Les *dioritporphyrite* constituent une des familles du groupe granitodioritique de M. H. Rosenbusch appartenant aux roches filoniennes; les deux autres groupes, le groupe aplitique et le groupe lamprophyrique, s'en distinguent nettement.

Les *dioritporphyrite* sont caractérisées par leur structure holocristalline porphyrique, où les phénocristaux sont des plagioclases et de la biotite, de la hornblende ou de l'augite. Quand le quartz se joint aux autres phénocristaux, on a la sous-famille des *quartzdioritporphyrite*.

(¹) H. ROSENBUSCH, *Mikroskopische Physiographie*, etc., p. 562, et *Elemente der Gesteinslehre*, etc., p. 211.

D'après la prédominance de l'élément coloré comme phénocrystal, on y établit les divisions :

Biotitdioritporphyrite (quarzbiotitdioritporphyrite);

Hornblendedioritporphyrite (quarzhornblendedioritporphyrite);

Augitdioritporphyrite (quarzaugitdioritporphyrite).

Ce sont les *hornblendedioritporphyrite* qui correspondent seules à nos microdiorites; les *quarzhornblendedioritporphyrite* correspondent à nos microdiorites quartzifères. Cette division et cette subdivision comprennent les roches connues des Henry Mountains et West Elk Mountains (États-Unis), du porphyre bleu de l'Estérel (Var), du col du Chardonnet (Dauphiné), de Quenast (Belgique), de l'Ortler (Suldenit et Ortlerit), de Méran (Vintl) que nous nommons aussi *microdiorites* ou *microdiorites quartzifères*.

Les *biotitdioritporphyrite* et les *augitdioritporphyrite* sont exclues de nos microdiorites caractérisées par la présence de l'amphibole.

Par contre, nos microdiorites, où ce dernier minéral est dominant sur les autres éléments colorés, débordent sur les roches aplitiques et lamprophyriques de M. H. Rosenbusch. Elles comprennent ainsi les *malchite*, les *lucile*, les *hornblendekersantite*, des *spessartite*, et toutes les roches de la série alcaline que nous ne citons pas.

Le groupe de nos microdiorites est, par suite, plus compréhensif par certains points de vue que la famille des *dioritporphyrite*; d'un autre côté, cette dernière, qui comprend aussi quelques-unes de nos microkersantites et quelques-uns de nos microgabbros, déborde parfois sur nos microdiorites.

Quoi qu'il en soit, les roches de la vallée du Lys se placent sans conteste parmi les *hornblendedioritporphyrite*.

Il est plus difficile d'être aussi catégorique pour la roche

Fig. 2. — Diabase intersertale (col d'Oncet) (G = 60 diamètres).

Fig. 3. — Diabase intersertale (col d'Oncet) (G = 45 diamètres).

Fig. 4. — Labradorite augitique (sommet du Pic du Midi) (G = 45 diamètres).

PLANCHE V. — Roches de l'Arbizon :

Fig. 1. — Diabase intersertale à tendance ophitique (G = 60 diamètres).

Fig. 2. — Diabase intersertale (type) (G = 60 diamètres).

Fig. 3. — Diabase intersertale (passage) (G = 35 diamètres).

Fig. 4. — Andésite augitique (très vitreuse, type) (G = 30 diamètres).

PLANCHE VI. — Échantillons macroscopiques :

Fig. 1. — Andésite, très vitreuse, de l'Arbizon (réduction = $\frac{3}{4}$).

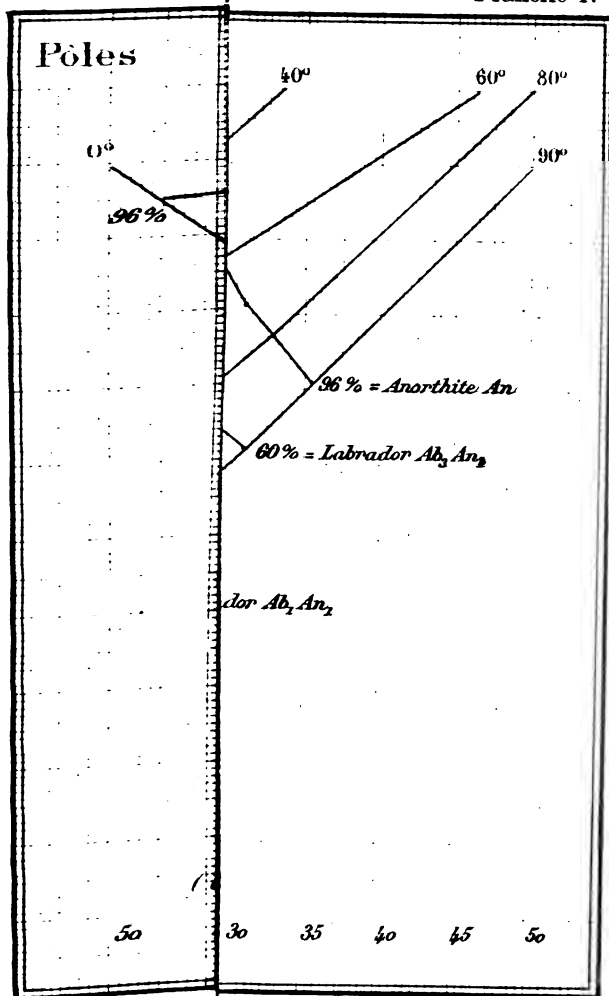
Fig. 2. — Andésite augitique à andésine et hornblende (type Piquette d'Aras Lids) (réduction = $\frac{1}{4}$).

PLANCHE VII. — Vue du Lac Bleu, côté sud.

PLANCHE VIII. — Vue du pic d'Arbizon et du pic de Montfaucon.

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.



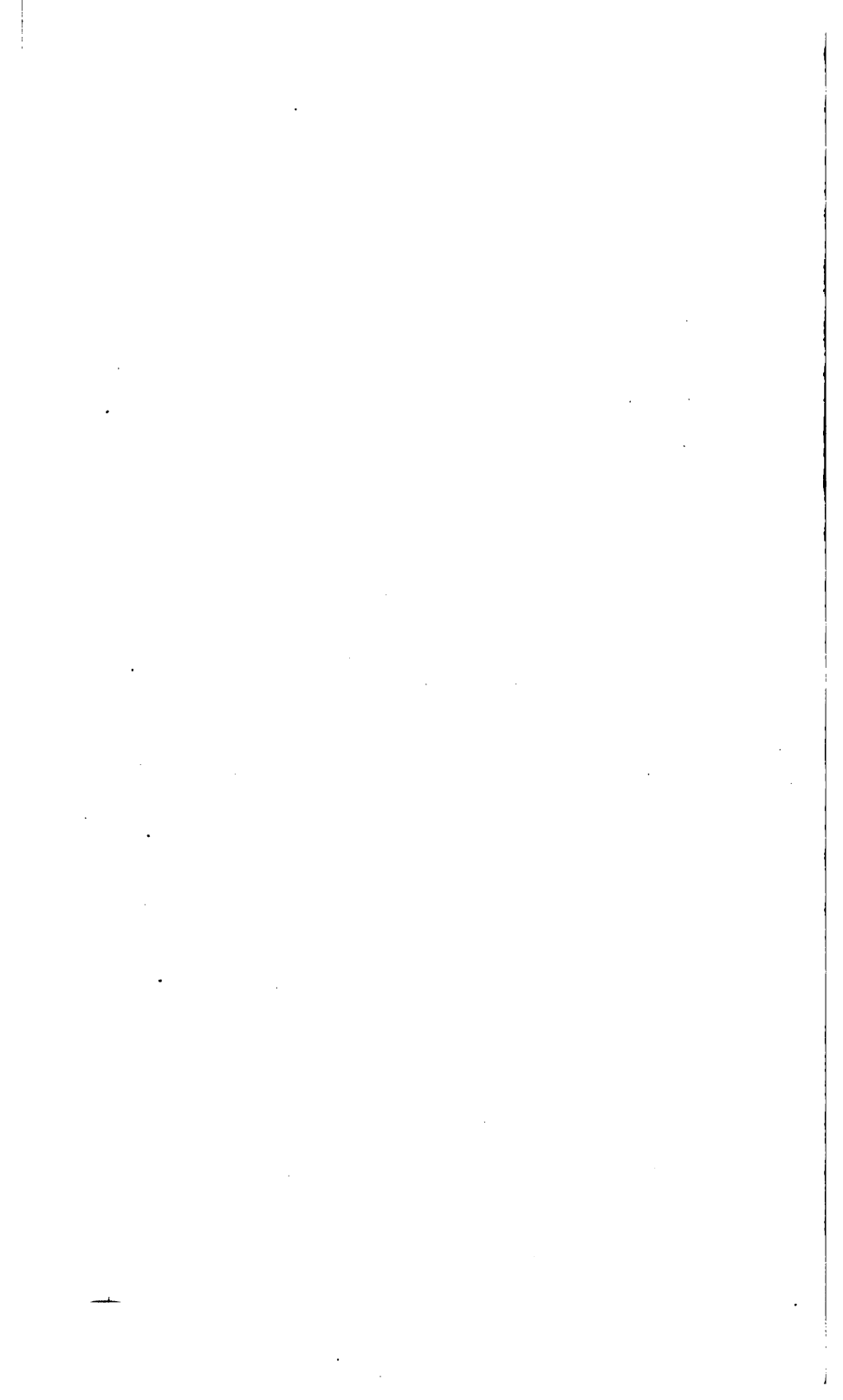




Fig. 1



Fig. 2



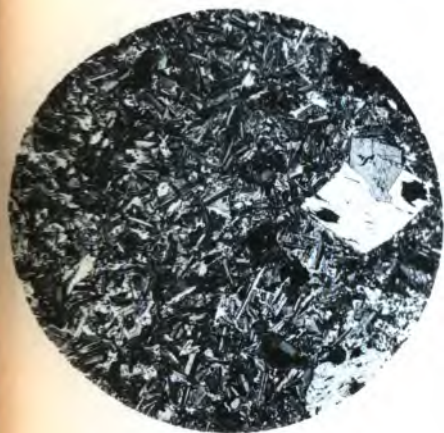


Fig. 1

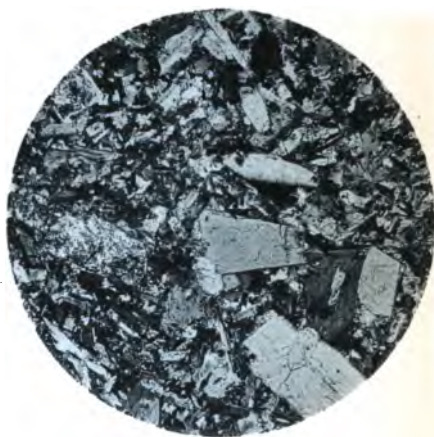


Fig. 2

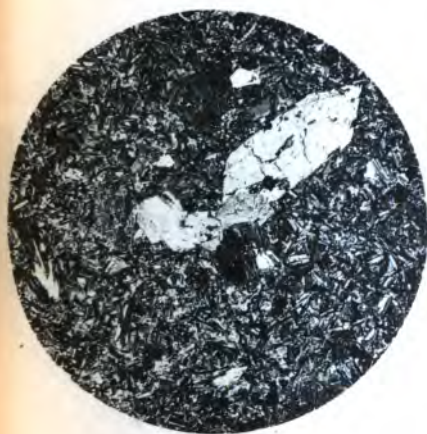


Fig. 3

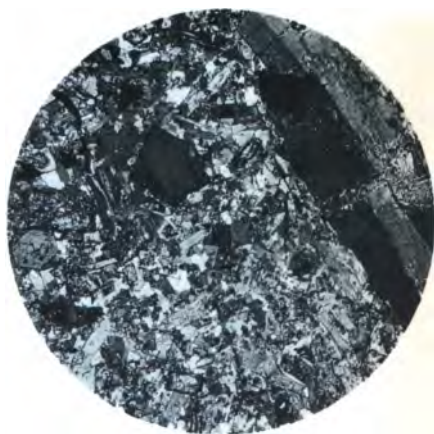


Fig. 4



Fig. 1



Fig. 2

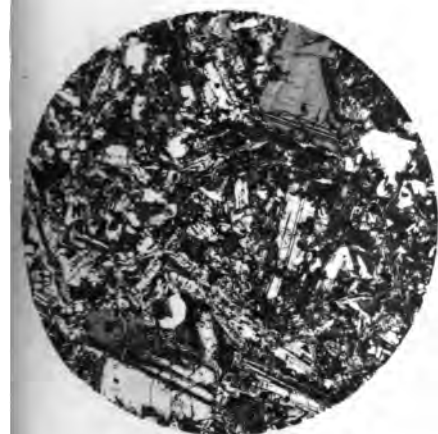


Fig. 3

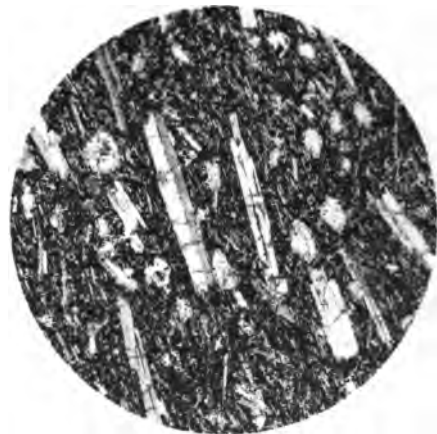


Fig. 4



Fig. 1



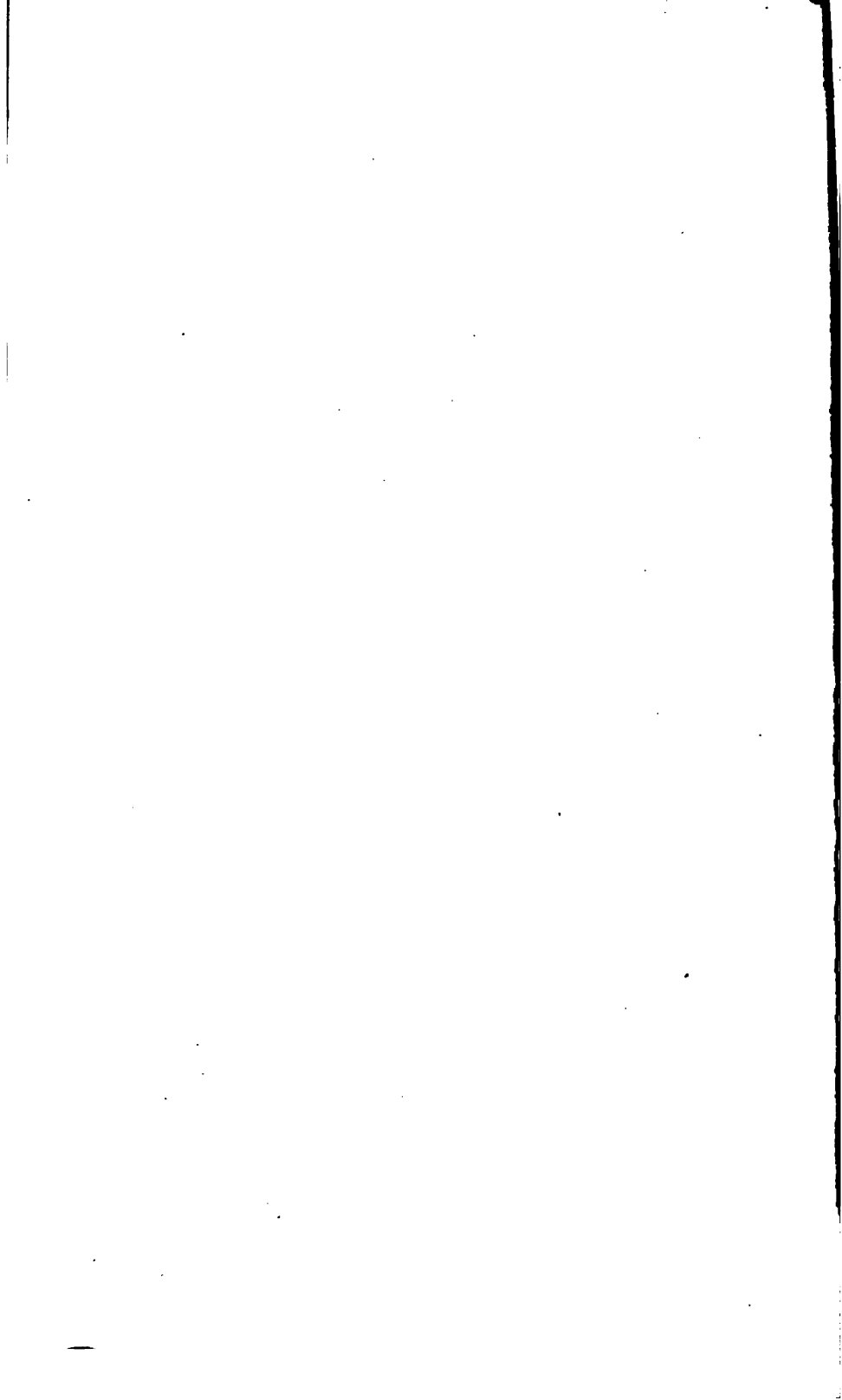
Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



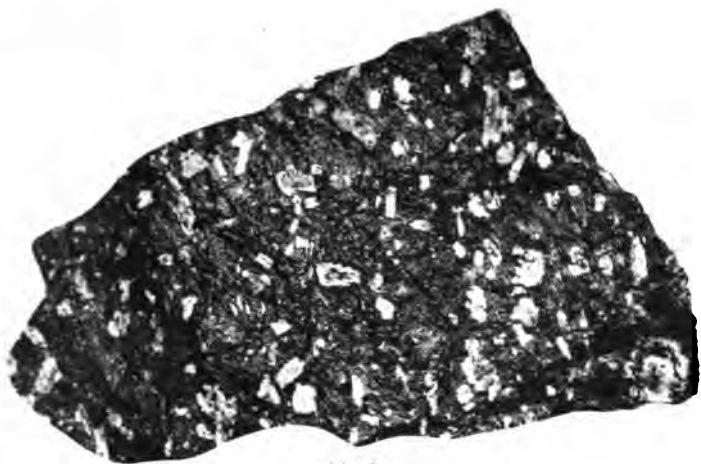
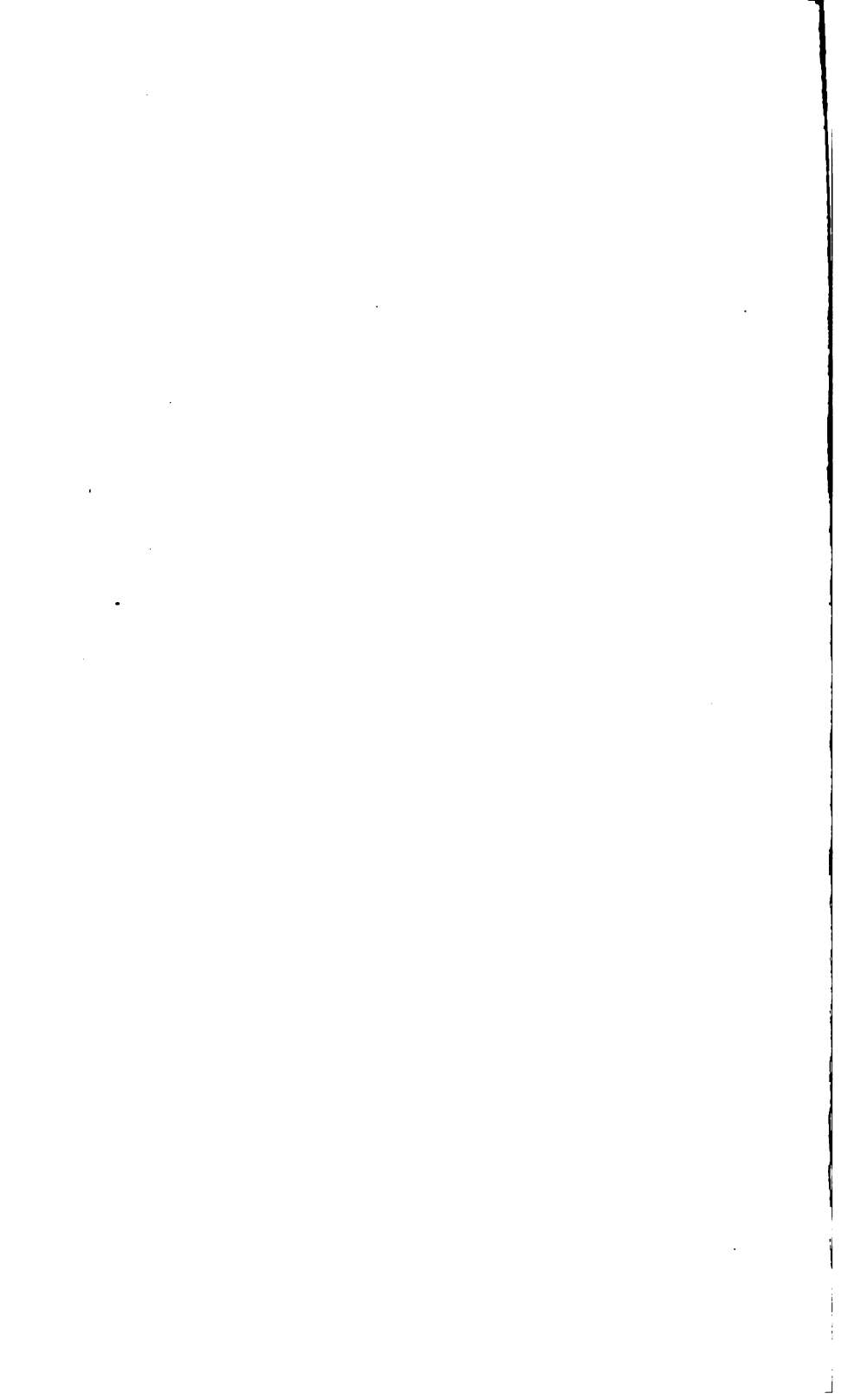


Fig. 1



Fig. 2





Cl. A. de Romeu.

Vue du Lac Bleu, côté sud.

Phototypie Barthaud

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN N° 6.

Compte rendu de la Séance du 13 Juin 1907.

PRÉSIDENCE DE M. A. LACROIX, *Vice-Président.*

M. LE PRÉSIDENT proclame membre de la Société :

M. le D^r LAUMONIER, 18, rue Le Verrier, Paris.

M. BARDET présente, au nom de M. Jacques BARDET, des photographies de minéraux et de coupes de roches obtenues par le nouveau procédé de photographies en couleurs qui vient d'être vulgarisé par MM. A. et L. Lumière, de Lyon.

Jusqu'ici, pour avoir des reproductions colorées des minéraux et des coupes, vues en lumière polarisée, on était obligé d'utiliser le procédé dit des *trois couleurs*, par superposition des trois teintes fondamentales. M. Bardet montre une épreuve obtenue par la pinatypie, qui est le meilleur de ces procédés. Examinée en projection, cette épreuve, on peut le voir, est très brillante et très claire, les tons sont agréables à l'œil; mais, si on la compare à la coupe qui a servi à l'obtenir, on est amené à conclure que les couleurs ne sont pas exactes et, surtout, que leurs valeurs ne sont pas conservées.

Au contraire, les trois coupes de roche, diorite, éciogite, lherzolite, obtenues par le procédé Lumière, sont, comme on peut s'en rendre compte, d'une exactitude parfaite. De même, si l'on jette un coup d'œil sur le cliché qui représente un certain nombre d'échantillons placés sur un fond rouge, on constatera qu'il est impossible de ne pas les reconnaître, les couleurs de l'apatite verte se distinguent parfaitement sur le rose chair du microcline qui la renferme, la garniérine est vert intense, le sel gemme bleu a sa couleur exacte, l'acrodèse est noire.

Nous sommes en possession d'un moyen très pratique de conserver la représentation des échantillons minéralogiques, et surtout d'illustrer nos conférences par des projections exactes. Il est donc certain que la découverte nouvelle est appelée à rendre des services considérables dans les cours et dans les laboratoires.

M. DE SCHULTEN a déterminé les constantes cristallographiques d'un certain nombre d'apatites et de wagnérites artificielles. De ces recherches ressort nettement l'influence des constituants différents des apatites sur la valeur de l'axe *c*.

M. DE SCHULTEN communique également des recherches cristallographiques effectuées sur des composés obtenus par M. Henri Moissan et, dans son laboratoire, par MM. Lebeau et C. Poulenc. Ces travaux comprennent plusieurs siliciures, borures et fluorures.

M. A. LACROIX met sous les yeux de la Société une série de beaux cristaux de divers sels : *picromérite*, *cyanochroïte*, *érythrosidérite*, *chalcantithe*, etc., obtenus en faisant cristalliser le produit de la dissolution de diverses croûtes recueillies à l'orifice des fumerolles de la récente éruption du Vésuve.

Les minéraux des fumerolles de l'éruption du Vésuve en avril 1906;

Par M. A. LACROIX.

Ch. Sainte-Claire Deville et Fouqué ont mis en évidence la liaison existant entre la nature des produits émis par une fumerolle volcanique, sa position par rapport au centre éruptif et le temps écoulé depuis le début de l'éruption. Ils se sont surtout préoccupés des gaz au cours de leurs recherches en grande partie effectuées au Vésuve. Les produits solides formés par les fumerolles de ce volcan ont été étudiés au point de vue chimique et minéralogique par L. Palmieri et par A. Scacchi; les éruptions du Vésuve sont exceptionnellement intéressantes à ce point de vue, à cause de la variété des sels qui s'y forment par suite de la nature même du magma qui les alimente et à cause aussi des particularités qui singularisent fréquemment certaines de ces éruptions.

J'ai eu l'occasion de suivre l'éruption (1), qui a débuté le 4 avril 1906 et s'est terminée rapidement après le paroxysme destructeur de la nuit du 7 au 8 avril. Elle a été caractérisée non seulement par des phénomènes explosifs particulièrement violents, mais encore par une rapide coulée de lave qui est venue s'arrêter à la porte de Torre Annunziata, après avoir en partie détruit le bourg de Boscotrecase.

(1) On trouvera des renseignements sur les principaux phénomènes de l'éruption dans deux articles : *L'éruption du Vésuve en avril 1906*, que j'ai publiés dans la *Revue générale des Sciences* du 30 octobre et du 15 novembre 1906. J'ai étudié, d'autre part, les minéraux silicatés et les roches dans un Mémoire inséré dans les *Nouvelles Archives du Muséum*, 4^e série, t. IX, 1907, p. 1-172 et pl. 1-10.

Cette Note est consacrée à l'étude des principaux minéraux des fumerolles que j'ai recueillis moi-même ou que je me suis procurés après mon retour de Naples; je m'occuperai particulièrement *des conditions de leur gisement et de leurs associations* dans les quatre types de fumerolles (fumerolles à sels de potassium et de sodium, fumerolles acides, fumerolles à chlorure d'ammonium, fumerolles sulfhydriques), qui se succèdent dans cet ordre au cours du refroidissement du magma (¹).

I. — Minéraux des fumerolles à sels de potassium et de sodium.

Les fumerolles à sels potassiques et sodiques sont celles qui se produisent à la plus haute température, elles s'élèvent de la lave coulante ou seulement incandescente. Les observations de M. Fouqué, à l'Etna (²), en 1865, ont montré que ce n'est que dans des cas particuliers que ces fumerolles sont sèches, qu'elles renferment presque toujours de la vapeur d'eau et de l'acide chlorhydrique, puis de l'acide sulfureux; il n'est donc pas correct de les appeler fumerolles sèches ou fumerolles neutres, comme on le fait quelquefois.

La connaissance du point de fusion des sels alcalins (K Cl, 762°C.; Na Cl : 800°C.; K² SO⁴ : 1067°C., mélange eutectique de Na Cl et de K Cl, 655°) fournit une indication appro-

(¹) Les Mémoires auxquels il est fait allusion dans cette note et auxquels je ne ferai pas de renvoi plus explicite sont les suivants; pour les produits de l'éruption récente : A. LACROIX, *Comptes rendus*, t. CXLII, 5 juin 1906, p. 1249 et t. CXLIII, 12 nov. 1906, p. 727. F. ZAMBONINI, *Atti R. Accad. Sc. Napoli*, t. XII, n° 8, 10 nov. 1906, et pour ceux de l'éruption de 1872 : L. PALMIERI, *La conflagrazione vesuviana del 26 aprile 1872* (*Atti R. Accad. Sc. Napoli*, t. V, 1872); A. SCACCHI, *Contribuzioni miner. per servire alla storia del incendio vesuviano, aprile 1872, parte seconda* (*Atti R. Accad. Sc. Napoli*, t. VI, 1872).

(²) FOUQUÉ, *Rapport sur les phénomènes chimiques de l'éruption de l'Etna* (*Arch. miss. sc. et litt.*, t. III, 1866, p. 165-246).

chée sur la température minimum ⁽¹⁾ que ne peut dépasser ce type de fumerolles.

La rapidité avec laquelle la lave s'est solidifiée lors de l'éruption du Vésuve ne m'a pas permis d'observer le fonctionnement de ce type de fumerolles. J'ai vu encore la lave rouge sombre en de nombreux points de la coulée de Boscotrecase, mais elle ne dégageait plus alors que du chlorure d'ammonium. J'ai bien recueilli sur cette coulée des croûtes de chlorures et de sulfates alcalins; mais, comme ces sels sont mélangés aux produits des fumerolles suivantes, je les laisserai de côté.

Dans la première quinzaine de mai, les flancs Nord-Est du cône présentaient jusque sur les bords du cratère les fumerolles acides, dont il va être question plus loin. Mais, au cours de l'été, par suite de la disparition de la cendre et des autres matériaux projetés superficiels, on a pu observer, sur les bords mêmes du cratère, des fumerolles à plus haute température, s'élevant des fentes d'une coulée de lave que M. Eugenio Aguilar a trouvée ⁽²⁾ encore incandescente le 3 octobre. Le 20 décembre, un violent éboulement a entraîné dans le cratère ce gisement intéressant. J'ai étudié de nombreux produits de ces fumerolles que m'a adressés le guide Sonnino, qui m'avait accompagné dans mes excursions, puis d'autres que m'a procurés M. Aguilar au moment de la correction des épreuves de cette Note.

Enfin, les blocs projetés par les explosions vulcaniennes sont imprégnés de sels dus à l'action de fumerolles à haute température de même nature; ils se sont produits en profondeur, à l'abri de l'observation directe; leur étude est pré-

(¹) D'après des renseignements que m'a fournis M. Brun, le Na Cl donne des fumées blanches à partir de 900°, et le mélange eutectique des deux chlorures, entre 800° et 850° C.

(²) *Bull. Soc. di Natural., Napoli*, t. XXI, 1907.

cieuse, puisqu'elle permet de compléter les notions acquises dans les fumerolles superficielles.

1° FUMEROLLES DES BORDS DU CRATÈRE.

Les échantillons qui ont été recueillis au début de l'éruption consistent en croûtes blanches, verdâtres ou rougeâtres, à aspect parfois scoriacé, dans lesquelles on ne distingue aucun cristal déterminable. Elles constituent des mélanges très hétérogènes, dans lesquels prédominent la *sylvite* (KCl) et la *halite* (NaCl), ou des sulfates des mêmes métaux, à l'état d'*aphthitalite* $\text{SO}^4 (\text{K}, \text{Na})^2$; suivant les échantillons, ce sont les chlorures ou les sulfates qui existent en proportion dominante, les seconds, au moins dans certains cas, résultent de la transformation des premiers sous l'influence de l'acide sulfureux, oxydé au contact de l'air. Ces sels sont parfois, en outre, accompagnés de petites lamelles d'hématite.

Des sels de cuivre se rencontrent aussi d'une façon presque constante; parfois dissimulés, ils sont souvent visibles, grâce à la couleur qu'ils donnent au mélange dont ils font partie; ils sont quelquefois associés à des sels de plomb, plus difficiles à mettre en évidence sans le secours d'essais chimiques.

J'ai dissous dans l'eau quelques-unes de ces croûtes dépourvues de cristaux distincts et j'ai fait cristalliser leur solution, suivant ainsi la voie indiquée par A. Scacchi dans son étude des produits de l'éruption de 1872. On obtient ainsi de nombreux sels; mais ils ont surtout un intérêt chimique et cristallographique, car il est bien évident que la dissolution détruit les formes minéralogiques qu'il importerait surtout de connaître et que la cristallisation par voie aqueuse de leur solution ne fournit pas les mêmes combinaisons que la cristallisation naturelle par sublimation. Cette étude n'est cependant pas absolument inutile, au point de vue spécial où je me place dans ce Mémoire, car la comparaison des

résultats fournis par des échantillons différents, recueillis dans la même fumerolle, met en évidence de très grandes variations de composition.

J'ai obtenu ainsi divers sels : *chlorure de potassium* en cubes, *chlorure de sodium* en cubes, creusés de trémies, *sulfate de potasse* (K^2SO^4), *mirabilite* ($Na^2SO^4 + 10H^2O$), *chalcanthite* ($CuSO^4 + 5H^2O$), etc. Un échantillon m'a fourni en grande abondance de beaux cristaux monocliniques de *cyano-chroïte* ($CuSO^4, K^2SO^4 + 6H^2O$). Je n'ai pas continué cette étude, M. F. Zambonini ayant publié des observations concordantes faites dans la même direction; ce savant a obtenu, en outre des sels qui viennent d'être énumérés, la forme monoclinique du sulfate sodicopotassique, différant par suite de l'aphthitalite rhomboédrique naturelle, la *picromérite* ($MgSO^4, K^2SO^4 + 6H^2O$) et enfin la *métavoltite* ($5K^2O, 3Fe^2O^3, 12SO^3 + 18H^2O$).

Je n'ai pas fait d'observation nouvelle particulièrement intéressante sur les sels exclusivement alcalins de ces croûtes cristallines, aussi n'insisterai-je pas sur eux, et ne m'occuperai-je que des minéraux cuprifères et plombifères bien individualisés.

Les minéraux cuprifères.

Le cuivre, qui est presque constant au milieu des chlorures alcalins, mais y existe en quantité variable, doit venir de la profondeur à l'état de Cu^2Cl^2 , volatil à haute température; aussi est-il surprenant que la *nantokite* n'ait pas été observée jusqu'à présent au Vésuve; il est vraisemblable qu'elle a pu passer inaperçue, à cause de sa couleur blanche et de son système cristallin cubique, qui ne permettraient pas facilement de la distinguer si elle était disséminée au milieu d'une grande quantité de sylvite et de halite. Ce minéral d'ailleurs est instable et, s'il se forme réellement dans

ces conditions, il doit se transformer rapidement en chlorure cuivrique; c'est à ce dernier état seulement que le cuivre a été constaté dans tous les échantillons étudiés.

A. et E. Scacchi ont décrit, sous le nom d'*éριοchalcite* (*eriocalco*), un produit cotonneux, bleuâtre, déliquescent (Cu Cl^2 , $x\text{H}^2\text{O}$), trouvé dans les produits de l'éruption de 1869. Il a dû y constituer un produit secondaire immédiat.

Parmi les échantillons de sels alcalins que j'ai examinés, il s'en trouve plusieurs, qui sont arrivés à Paris imparfaitement emballés, en laissant suinter un liquide vert, riche en chlorure cuivrique; peut-être provient-il de la destruction d'*éριοchalcite*. Ce liquide, de même que celui résultant de la dissolution des échantillons tout entiers, soumis à la cristallisation, a fourni d'abord des cubes de K Cl , puis des trémies de Na Cl , et enfin des cristaux quadratiques, uniaxes, optiquement négatifs du chlorure double (Cu Cl^2 , 2K Cl , $2\text{H}^2\text{O}$), vert bleuâtre.

Dans une opération de recristallisation, d'un très petit échantillon, j'ai obtenu, non pas ce chlorure, mais des cristaux mal formés d'un autre, d'un vert émeraude, qui semble orthorhombique et dont la bissectrice aiguë est positive, avec axes optiques très rapprochés; ce chlorure double paraît nouveau, mais je n'ai pu en isoler que quelques cristaux et je n'ai pu en compléter l'étude (1).

Mélanothallite (?). — Dans les échantillons dont il vient

(1) Dans les nombreuses expériences de recristallisation que j'ai effectuées, j'ai pu faire quelques observations sur l'influence des sels étrangers sur la forme dominante des cristaux de KCl , qui se déposent d'une solution; ceux-ci sont généralement des cubes à faces planes, quelquefois des trémies moins régulières que celles du chlorure de sodium, quand la cristallisation s'effectue rapidement en présence du chlorure de fer et du chlorure d'aluminium. Lorsqu'il existe du chlorure cuivrique, les cubes portent toujours les faces de l'octaèdre et fréquemment celles du rhombododécaèdre. Une cristallisation lente, en présence de chlorure de calcium, fournit des octaèdres souvent maclés.

d'être question, le chlorure de cuivre est noyé dans une très grande quantité de chlorures alcalins; j'en ai examiné d'autres, recueillis depuis peu, dans lesquels les chlorures blancs ne sont pas apparents, bien qu'ils puissent être mis en évidence par les procédés chimiques. A la surface de ces scories, on voit de petites croûtes, d'un vert émeraude, devenant par exposition à l'air d'un vert jaune sale; elles recouvrent parfois des enduits de cotunnite. Ce minéral vert, examiné au microscope, se montre formé de lames transparentes, monoréfringentes, ne fournissant aucune image en lumière convergente. Chauffé sur une lamelle de verre, il devient brun, mais reprend sa couleur verte au contact de l'eau. Il se dissout incomplètement dans l'eau bouillante avec quelque difficulté. La solution contient du chlore et du cuivre et fort peu de potassium; par concentration, j'ai obtenu d'abord un peu de Pb Cl^2 , dont la présence s'explique par l'existence de la cotunnite parfois directement observable sur la gangue, puis du chlorure cuivrique hydraté (Cu Cl^2 , $2 \text{ H}^2\text{O}$) aciculaire ⁽¹⁾, prédominant, avec une petite quantité du chlorure quadratique (Cu Cl^2 , 2 K Cl , $2 \text{ H}^2\text{O}$). Ces essais me font penser que le minéral qui nous occupe doit être rapporté à la mélanothallite de A. Scacchi ⁽²⁾, à laquelle M. E. Scacchi ⁽³⁾ attribue la formule (Cu Cl^2 , Cu O , $2 \text{ H}^2\text{O}$).

Pour rendre cette détermination définitive, il faudrait

⁽¹⁾ Ce sel est orthorhombique; il possède une propriété comparable à celle que j'ai signalée dans la mésolite triclinique. Il présente des clivages faciles suivant un prisme de $94^\circ 54'$. Le plan des axes optiques est transversal à l'allongement (parallèle à p) et chacun des axes optiques est presque centré sur une face m . Cette propriété le fait reconnaître immédiatement au milieu des autres sels cuivriques qui l'accompagnent; elle permettrait, en l'absence d'analyse précise, de déterminer si les houppes bleues d'*eriochalcite* sont à rapporter, comme cela est probable, à cet hydrate ($\text{Cu Cl}^2 2 \text{ H}^2\text{O}$). ✓

⁽²⁾ *Atti R. Accad. Napoli*, 1870.

⁽³⁾ *Rendic. R. Accad. Sc. Napoli*, 1884.

connaître quelles sont les propriétés optiques du produit décrit par les savants italiens, et dont je n'ai pu me procurer d'échantillon authentique.

Ténorite. — Plusieurs des croûtes précédentes, recueillies en mai et en juin, renferment quelques paillettes noires, éclatantes, de ténorite (CuO). Depuis lors, ce minéral s'est formé en grande abondance sous forme de lames qui tapissent les cavités de scories; elles possèdent l'aspect et la forme classiques de ce minéral qui est fréquent au Vésuve; aussi, n'insisterai-je pas sur lui.

Ces échantillons ne présentent souvent aucun sel soluble apparent; mais, en les traitant par l'eau, on dissout toujours des chlorures alcalins, accompagnés d'une petite quantité de chlorure cuivrique. La ténorite est produite par la réaction bien connue de la vapeur d'eau sur ce dernier. Il est fréquent de voir la surface de ses cristaux givrés de petits mamelons verts d'*atélite*, qui paraissent formés par les fumerolles chlorhydriques postérieures à celles qui ont donné naissance au minéral, plutôt peut-être qu'à l'acide mis en liberté par la réaction initiale. L'examen microscopique permet de suivre la marche progressive de cette chloruration, qui s'effectue parfois, sans que la lame de ténorite perde ses formes; c'est là, d'ailleurs, un fait banal au Vésuve.

Les minéraux plombifères.

Cotunnite. — Le chlorure de plomb est un minéral assez fréquent dans les fumerolles du Vésuve ayant une longue durée; les nombreux échantillons que j'ai étudiés ont présenté des aspects variés suivant la date à laquelle ils ont été recueillis. Les premiers (août 1906) formaient exclusivement des croûtes, des boules ou des mamelons cristallins, soit à la surface de scories, soit au milieu de cendres peu cohérentes. Je n'ai observé alors de cristaux distincts transparents que

sur un seul échantillon, où ils formaient de très petites aiguilles d'un jaune d'or, transparentes, allongées suivant l'arête ph^1 et aplaties suivant $p(001)$, face perpendiculaire à la bissectrice obtuse négative.

La forme globuleuse, hérissée de pointements cristallins, que présente souvent cette cotunnite, m'a rappelé une observation d'A. Scacchi, mentionnée dans sa description des minéraux de l'éruption de 1872. Il relate en effet qu'ayant dégagé l'orifice d'une fumerolle encore brûlante, il a vu, au milieu du sable volcanique, du chlorure de plomb fondu, dont la masse était animée de mouvements internes; de nombreux cristaux de cotunnite se trouvaient dans le voisinage. Je me représente mes échantillons comme résultant de la cristallisation par refroidissement de gouttes fondues de ce genre. Le chlorure de plomb fondant à 498° C. et ne commençant à donner des vapeurs blanches qu'à 860° , on s'explique les conditions nécessaires pour que ce minéral puisse se produire sous cette forme, sans qu'il soit accompagné d'aucun cristal sublimé. Dans un des échantillons examinés, la cotunnite constitue des masses, à structure coralloïde, rappelant celle de fragments de calcaire qui auraient été profondément attaqués par un acide; il est possible que cette structure soit le résultat d'une corrosion due à l'eau pluviale, mais je n'en ai pas la preuve, n'ayant pas ramassé l'échantillon moi-même.

A partir de janvier 1907, j'ai reçu des échantillons différents des précédents, la cotunnite s'y rencontre exclusivement sous forme sublimée. Ses cristaux blancs, translucides, sont parfois distribués sur leur gangue d'une façon quelconque; souvent aussi, ils se groupent en grand nombre et à axes parallèles pour former à la surface des cendres une sorte de vernis, constituant le squelette d'un grand cristal, dont les faces miroitent par réflexion, sans présenter de continuité.

Enfin, je donnerai à la page 230 quelques renseignements sur deux types de pseudomorphoses de galène en cotunnite.

Tous les échantillons dont il vient d'être question ne sont pas accompagnés de chlorures alcalins macroscopiques, mais leur lavage permet toujours d'extraire une petite quantité de ceux-ci; parfois la cotunnite est recouverte par le minéral que j'ai rapporté plus haut à la mélanothallite.

Le chlorure de plomb, pour n'être généralement pas apparent dans les croûtes très riches en chlorures alcalins, n'y est cependant pas toujours absent; il est parfois possible de déceler son existence dans le produit de leur dissolution dans l'eau bouillante; de plus, la production du sulfate double de plomb et de potassium, qui va être décrit plus loin, montre que ce chlorure peut être parfois très abondant dans cette catégorie de produits.

Pseudocotunnite. — A la suite de l'éruption de 1872, A. Scacchi a décrit, sous le nom de *pseudocotunnia* (pseudocotunnite), un chlorure de plomb et de potassium, en petites aiguilles ternes, jaunes ou blanches et opaques, auxquelles il a attribué la formule $(\text{PbCl}^2 \cdot \text{KCl})$. M. F. Zambonini vient de retrouver ce même minéral en aiguilles jaunes ou vertes, associées à la ténorite; un échantillon exceptionnel provenant des fumerolles du Canale dell'Arena renferme des aiguilles blanches, qu'il a spécialement étudiées.

Le minéral paraît orthorhombique. Ses cristaux, atteignant 5^{mm}, ont l'aspect de certains de ceux de cérusite. M. Zambonini, en discutant l'une des analyses d'A. Scacchi, a établi que le minéral répond en réalité à la formule $(\text{PbCl}^2 \cdot 2\text{KCl})$ et qu'il est identique par conséquent au sel rhombique qui vient d'être obtenu par MM. P. Lorenz et W. Ruckstuhl (¹).

(¹) *Zeitschr. für anorg., Chem.*, t. LI, 1906, p. 71.

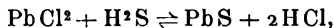
Je n'ai pas personnellement observé ce minéral parmi les produits récents que j'ai étudiés.

Galène. — J'ai appelé déjà l'attention ⁽¹⁾ sur le grand intérêt théorique présenté par les cristaux de galène formés en 1906, intérêt augmenté encore par ce fait que ce minéral n'avait été observé dans aucune des éruptions antérieures du Vésuve.

Les échantillons supportant cette galène présentent deux aspects différents; les uns sont constitués par des scories intactes, noires, les autres par les mêmes roches, très rubéfiées. Dans le premier cas, les cristaux de galène ont la couleur caractéristique de ce minéral et sont très éclatants; dans le second, ils sont noirs et ternes.

La forme presque unique est celle du cube non modifié avec clivages cubiques; dans un seul échantillon, j'ai observé l'association du cube et de l'octaèdre. Les dimensions de ces cristaux ne dépassent guère 1^{mm}; ils sont fréquemment déformés par allongement suivant un axe quaternaire ou par aplatissement suivant deux faces parallèles du cube. Enfin, certains d'entre eux présentent les trémies si fréquentes dans la galène produite par sublimation dans les usines métallurgiques et dans celle des houillères embrasées de la Loire.

La formation de la galène doit être expliquée par la réaction classique



⁽¹⁾ *Comptes rendus*, 12 nov. 1906. M. Zambonini avait décrit le même minéral dans une Note présentée le 19 août à l'*Accademia dei Lincei* (t. XV, 1906, p. 235, voir aussi *Comptes rendus*, t. CXLIII, 3 décembre 1906, p. 921) et dont je n'avais pas eu connaissance. Nos observations et leur interprétation concordent, avec cette réserve toutefois que M. Zambonini n'a pas signalé les faits concernant l'existence, sous diverses formes, du chlorure de plomb, dont il est question plus loin.

qui a servi à Durocher dans sa synthèse de ce minéral ⁽¹⁾. Cela n'est pas d'ailleurs une simple hypothèse, car, en traitant par l'eau bouillante les échantillons qui nous occupent et dans lesquels l'examen microscopique ne décèle l'existence d'aucun sel, j'ai extrait des quantités notables de chlorures de plomb, de potassium et de sodium. Il n'est donc pas douteux, non seulement que cette galène se soit produite par la réaction précitée, mais, en outre, qu'elle soit de formation contemporaine de celle des sels alcalins.

Sur plusieurs des scories étudiées, les cubes sont d'un vert noir et un peu translucides; ils sont en outre enveloppés par un agrégat miarolitique de petits cristaux rhombiques transparents de cotunnite; c'est la première fois que ce genre de pseudomorphose, produit à haute température, est rencontré dans la nature. Je ne l'ai observé que dans les scories non rubéfiées; aussi je le considère comme contemporain de la formation de la galène et comme produit au cours de la réaction dont il vient d'être question et qui est réversible.

Il n'en est plus de même pour les transformations qu'ont subies les cristaux noirs des scories rubéfiées. Au contact de l'eau, ils se gonflent, blanchissent et se brisent facilement; ils se dissolvent plus ou moins complètement dans l'eau bouillante. Ce sont encore des pseudomorphoses en chlorure de plomb; mais elles ne possèdent pas la cristallinité des précédentes et le chlorure n'y apparaît pas en dehors des cristaux de galène; aussi je les regarde comme formées à une température plus basse que les précédentes et comme dues à l'action de la vapeur d'eau chargée d'acide chlorhydrique de la fumerolle passée en se refroidissant à l'état de fumerolle uniquement acide; la rubéfaction de la gangue confirme cette hypothèse. Il est facile, du reste, d'effectuer expérimentalement

(1) *Comptes rendus*, t. XXXIII, 1851, p. 823.

talement une transformation identique en maintenant pendant quelques heures à l'étuve, aux environs de 100°, des clivages de galène, au-dessus d'un vase renfermant de l'acide chlorhydrique.

Cette facile transformation de la galène en chlorure, au cours de l'évolution normale d'une fumerolle, est importante à noter; j'ai fait remarquer, en effet, qu'elle explique peut-être pourquoi le sulfure de plomb n'avait pas été observé jusqu'à ce jour au Vésuve, bien que les conditions nécessaires à sa production (coexistence dans une même fumerolle du chlorure de plomb volatilisé et d'hydrogène sulfuré) aient dû y être maintes fois réalisées. Le chlorure résultant de cette transformation est amorphe ou crypto-cristallin; il peut être plus facilement dissous par les eaux pluviales que s'il était bien cristallisé et il peut être, par suite, rapidement éliminé. La galène n'est donc dans cette hypothèse qu'un minéral transitoire, ne pouvant être observé que s'il est saisi pendant que la fumerolle est encore soumise aux conditions physiques et chimiques qui ont présidé à sa formation. M. Zamhonini, en citant cette remarque, a fait observer que le soin avec lequel les éruptions antérieures du Vésuve ont été étudiées rend peu probable mon hypothèse et il considère la formation de la galène comme due à des conditions (de température) fort exceptionnelles, réalisées dans certaines fumerolles de 1906; il combat, en outre, mon idée d'existence transitoire par ce fait que la production du minéral a été constatée depuis la moitié de mai jusqu'à la fin de novembre. Je ne tiens pas outre mesure à cette hypothèse, je ferai remarquer seulement que par *transitoire* je n'ai pas voulu dire « qui dure peu de temps », mais « qui ne dure que pendant le temps où persistent les conditions nécessaires à la production du minéral »; il importe peu que cela soit pendant quelques semaines, quelques mois ou même davantage; j'ai voulu dire

que, dès que la fumerolle entre dans la période franchement chlorhydrique, par suite de son évolution normale, la galène doit disparaître et je crois bien que c'est en effet ce qui s'est réalisé depuis le moment où nos échantillons ont été recueillis; car, depuis lors, ce minéral n'a plus été retrouvé.

La production de la galène dans les fumerolles du Vésuve n'a pas simplement l'intérêt d'une rareté minéralogique; elle permet d'expliquer, en outre, le mécanisme de la production de ce minéral dans les calcaires métamorphiques de la Somma, où la galène est connue depuis longtemps et dans ceux modifiés au contact de certaines roches de profondeur, telles que le granite des Pyrénées, par exemple.

A un point de vue plus général, d'ailleurs, l'abondance du plomb parmi les produits des fumerolles du Vésuve est importante à noter pour la discussion des relations existant entre les filons métallifères et les magmas éruptifs.

Minéraux accompagnant la galène. — PYRITE. — La pyrite se rencontre en cristaux sur un grand nombre d'échantillons de scories supportant la galène; elle est toujours de formation antérieure à celle du dernier minéral et présente, dans les échantillons que j'ai examinés, une distribution assez différente. Tandis qu'en effet, les cristaux de galène ne recouvrent généralement que la partie de la scorie tapissant la paroi de la fumerolle et sont localisés à sa surface, les cristaux de pyrite, au contraire, sont distribués d'une façon régulière dans toutes les cavités de la roche, qui en est imprégnée, de telle sorte qu'on peut se demander si leur formation n'est pas antérieure à la projection des lapilli et, par suite, si elle n'est pas due à des fumerolles différentes de celles qui ont formé la galène (¹). Je n'insiste pas d'ailleurs

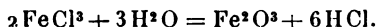
(¹) Cette opinion pourrait peut-être s'appuyer sur une observation de M. Zambonini qui a rencontré, sur la Somma (Bocca del Pigno) deux frag-

sur cette question, sur laquelle je n'ai pas d'éléments suffisants.

Les cristaux sont extrêmement petits; j'y ai constaté à la loupe les faces du cube et de l'octaèdre. M. Zambonini a signalé, en outre, $\frac{1}{2} b^2 [\pi(210)]$, sur un cristal qu'il a pu mesurer.

PYRRHOTITE. — Dans quelques-uns de mes échantillons, ce sulfure se présente en lamelles hexagonales d'un brun tom-bac; il est contemporain de la galène. J'ai observé aussi de fort petites lamelles hexagonales, que j'ai brisées en voulant les détacher de leur gangue; elles avaient une surface bronzée, mais présentaient un clivage cubique ayant la couleur de la galène. Je n'ai pu m'assurer s'il s'agissait là de macles octaédriques de galène, simulant la symétrie hexagonale, ce qui est possible, étant donnée l'existence des faces de l'octaèdre signalées plus haut sur les cristaux d'un échantillon, ou bien s'il ne s'agissait pas plutôt de l'une de ces pseudomorphoses de pyrrhotite en galène, du genre de celles de Pontpéan que j'ai décrites jadis (¹).

MAGNÉTITE ET HÉMATITE. — Enfin, dans quelques échantillons, j'ai observé, avec la galène, de très petites lamelles d'hématite et des octaèdres, parfois maclés suivant la loi du spinelle, qui sont à rapporter, soit à la *magnétite*, soit à la *magnésioferrite*; je n'ai pu les isoler de leur gangue oxydée pour en faire une étude chimique. L'hématite s'est certainement produite par la réaction classique



ments de scories recouverts de croûtes d'un autre sulfure, la chalcoppyrite : il le regarde comme ayant été produit par la réaction de Doelter (action de l'hydrogène sulfuré sur un mélange d'oxyde de cuivre et de sesquioxide de fer ou sur les chlorures de fer et de cuivre). Ce minéral a dû se produire antérieurement à la projection.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXV, 1897, p. 265 et *Bull. Soc. franç. Minér.*, t. XX, p. 223.

Ces deux minéraux ne se trouvant que sur des scories oxydées et étant implantés sur des cristaux de galène transformés en chlorures, il est vraisemblable que leur production a été contemporaine de l'altération de ceux-ci.

L'hématite était rare dans les champs de lave de Boscotrecas. Je ne l'ai vue (sous forme de petites lames spéculaires et de rhomboèdres basés) très aplatis, que dans une crevasse au voisinage de l'Oratorio, là où il n'existait plus aucune fumerolle; aussi me paraît-il probable que ce minéral s'y est produit dans la période de passage des fumerolles sèches aux fumerolles acides.

Palmiérite, nov. sp. ('). — Plusieurs des croûtes d'aphthitalite que j'ai examinées montrent, à l'œil nu, des lamelles nacrées d'un minéral, qu'il est facile d'étudier dans les préparations microscopiques taillées dans le sulfate alcalin. Elles sont très minces, fort biréfringentes, uniaxes et optiquement négatives, ce qui permet de les distinguer facilement de l'aphthitalite, très peu biréfringente, moins réfringente et optiquement positive.

Quand on place un fragment de la croûte dans l'eau froide, l'aphthitalite se dissout et met en liberté une quantité considérable de très petites lamelles micacées, offrant l'apparence de paillettes d'acide borique. Les lamelles isolées par ce procédé ont quelquefois des contours rigoureusement hexagonaux, plus souvent elles sont corrodées, car l'eau les attaque; si celle-ci est bouillante, le minéral se décompose, en laissant un résidu lourd qui, aux forts grossissements, se montre formé par des lamelles losangiques d'environ 104° , extrêmement petites (cristaux d'anglésite aplatis suivant la base).

(') A. LACROIX, *Comptes rendus*, t. CXLIV, 1907, p. 1397.

Notre minéral, malgré l'extrême minceur de ses cristaux, tombe rapidement dans l'iodure de méthylène : densité $> 3,33$. Il est anhydre et fond facilement au chalumeau; il se dissout dans l'acide azotique et donne les réactions de l'acide sulfurique, du plomb, du potassium et du sodium.

En traitant les croûtes qui le renferment, par le moins possible d'eau froide, puis en séparant par lévigation les paillettes ainsi mises en liberté, j'ai pu extraire quelques décigrammes de matière, qui ont été encore purifiés à l'aide de l'iodure de méthylène. J'en ai confié l'analyse à M. Pisani, qui a obtenu les résultats suivants, déduction faite de 22,59 pour 100 de résidu insoluble formé en grande partie par de l'hématite et par une très faible quantité d'un autre minéral très biréfringent, monoclinique, que je n'ai pu assimiler à aucune espèce connue. En regard de ces résultats (*a*), je donne la composition centésimale (*b*), après déduction du NaCl, constituant une impureté, enfin (*c*) la composition théorique correspondant à la formule $\text{SO}^+(K.Na)^2.\text{SO}^+\text{Pb}$.

	<i>a.</i>	<i>b.</i>	<i>c.</i>
SO ²	21,80	29,4	32,8
Pb O.....	40,65	54,8	52,3
K ² O.....	9,10	12,3	11,6
Na ² O.....	2,60	3,5	3,3
Na Cl.....	2,64	»	»
	76,79	100,0	100,0

Les différences assez grandes existant entre certains des nombres observés et ceux fournis par le calcul peuvent s'expliquer par une imperfection analytique due à la trop petite quantité de la matière soumise à l'étude. La preuve que le chlore ne fait pas partie de la composition du minéral m'a été fournie par une synthèse, facile à réaliser quand on se place dans les conditions naturelles, c'est-à-dire quand on

opère par fusion des sulfates ⁽¹⁾ indiqués plus haut, en présence d'un grand excès de sulfates alcalins. Les lames hexagonales ainsi obtenues sont beaucoup plus grandes que celles observées au Vésuve, mais leurs propriétés sont identiques.

Ce minéral n'appartient à aucune espèce connue; je propose de le désigner sous le nom de *palmiérite*, afin de rappeler le souvenir du savant napolitain, L. Palmieri, dont les intéressants travaux sur le Vésuve et en particulier sur les produits des fumerolles de l'éruption de 1872 sont bien connus de tous.

Dans la systématique, la *palmiérite* vient se placer à côté de la *glaubérite* ($\text{SO}^+\text{Na}^2.\text{SO}^+\text{Ca}$). Comme cette substance, elle est attaquable par l'eau en mettant en liberté ses deux composants, qui peuvent être ainsi obtenus sous forme cristallisée. Cette nouvelle espèce vient compléter et compliquer le petit groupe de sulfates doubles naturels de métaux mono et bivalents, qui ne comprenait jusqu'à présent que trois espèces calciques ou magnésiennes, la *glaubérite*, la *vanthoffite* ($3\text{SO}^+\text{Na}^2.\text{SO}^+\text{Mg}$) et la *langbeinite* ($\text{SO}^+\text{K}^2.2\text{SO}^+\text{Mg}$), toutes trois formées dans des conditions naturelles très différentes et par voie humide.

La connaissance de la *palmiérite* permet d'interpréter quelques observations antérieures, faites au Vésuve. La présence du sulfate de plomb dans l'aphthitalite a été signalée déjà par A. Scacchi (éruptions de 1872) et tout récemment par M. Zambonini (éruption de 1906), sans que l'existence d'un minéral spécial ait été soupçonnée: ce sulfate semble avoir été considéré plus ou moins explicitement comme se trouvant à l'état d'anglésite.

(1) Berthier a signalé (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXVIII, 1828, p. 256) la formation de sels doubles par fusion du sulfate de plomb avec des sulfates alcalins et a préparé celui de sodium. Belton a obtenu (*Chem. News*, 1905, p. 191), par la voie humide, un sulfate double de même composition que la *palmiérite*, dans lequel il ne signale pas de structure cristalline.

Anglésite. — Ce minéral a, d'ailleurs, été réellement rencontré au Vésuve, soit à l'état terreux, par A. Scacchi (1868 et 1872), soit à l'état cristallisé, par M. Zambonini (1906), qui a trouvé une scorie recouverte de fort petits cristaux d'anglésite de 1^{mm} de plus grande dimension. Ils sont isolés ou groupés sous forme de croûtes ou de mamelons; de couleur un peu violacée, ils présentent la combinaison $a^2(102)$ et $c^1(011)$, avec parfois de petites facettes $h^1(100)$: D'après ce savant, cette anglésite peut provenir de l'action de l'acide sulfurique sur le chlorure de plomb ou, plus vraisemblablement encore, comme dans les expériences de Ch. Sainte-Claire Deville et de Daubrée, de l'action de l'acide chlorhydrique gazeux sur le sulfate amorphe ou cryptocristallin, résultant d'une altération de la galène.

La connaissance de la palmiérite constitue un fait nouveau permettant peut-être d'expliquer plus rationnellement la formation de cette anglésite, au moins dans certains cas. Il semble qu'elle puisse constituer le dernier terme d'un cycle évolutif complexe :

1° Apport du plomb sous forme de chlorure volatil, accompagnant les chlorures alcalins; 2° transformation de tous ces chlorures en sulfates avec production de palmiérite et d'aphthitalite; 3° dissolution de ce dernier minéral (par l'eau atmosphérique) et, en même temps, 4° décomposition de la palmiérite avec résidu insoluble de sulfate de plomb, dont la cristallinité plus ou moins grande doit probablement dépendre de la température à laquelle s'effectue la décomposition.

2° MINÉRAUX DES BLOCS REJETÉS PAR L'ÉRUPTION.

Les cendres ⁽¹⁾ et tous les blocs des explosions volcaniennes étaient imprégnés de chlorures et de sulfates alcalins. Après

(¹) De nombreuses analyses des sels solubles de cette cendre ont été publiées. Je citerai seulement les suivantes comme exemple; elles ont été faites par

les pluies, la surface de toutes les laves boueuses se couvrait d'efflorescences blanches. Le 21 avril, ayant assisté à l'arrivée dans le lit du torrent d'Ottajano d'une coulée boueuse, bientôt arrêtée par un essorage dû aux matériaux secs recouvrant le thalweg, je suis remonté aussi loin que possible sur cette boue encore humide (¹). Au retour, les empreintes laissées par mes pas à sa surface, plus rapidement séchées par le soleil que le voisinage, étaient déjà couvertes d'efflorescences salines d'un blanc de neige, ressortant sur le fond noir de la coulée.

Les blocs des avalanches sèches étaient souvent tellement imprégnés par ces mêmes sels, que, si l'on mouillait pour les laver les échantillons contenant des silicates néogènes, après dessiccation, ces derniers disparaissaient presque au milieu de sels venant cristalliser à la surface.

M. E. Casoria (Portici, 1906) sur les sels extraits de la cendre grise *a* et la cendre rose *b*, tombée à Portici. Ce savant interprète de la façon suivante les résultats, qui sont rapportés à 100 parties de cendre :

NaCl.....	1,172	1,594
MgCl ²	0,184	0,165
MnCl ²	0,041	0,048
CaSO ⁴	0,840	0,882
K ² SO ⁴	0,357	0,272
Na ² SO ⁴	0,051	0,277
SiO ²	0,006	0,002
	<u>2,651</u>	<u>2,240</u>

Cette proportion de sels solubles est en moyenne dix fois plus grande que celle constatée dans les cendres de la Montagne Pelée.

En outre des sels qui viennent d'être indiqués, M. Brun (*Arch. Sc. phys. nat. Genève*, t. XXII, 1906, p. 100), M. Quensel (*Centralbl. für Miner.*, 1906, p. 499) et enfin M. J. Stoklasa (*Ber. deutsch. Chem. Gesellsch.*, t. XXXIX, 1906, p. 3531) ont signalé des quantités variables de chlorure d'ammonium, de produits hydrocarbonés : le dernier de ces savants y a signalé, en outre, du K²HPO⁴.

(¹) Voir la planche XXII dans mon Mémoire : Contribution à l'état des brèches et conglomérats volcaniques (*Bull. Soc. géol. France*, t. VI, 1906, 635).

Sur l'emplacement de la gare inférieure du funiculaire, se trouvaient d'énormes blocs de tufs scoriacés et de brèches, à ciment constitué par un mélange à grains fins de sylvite et de halite, avec çà et là des plages spathiques des mêmes minéraux; ces brèches, cimentées par des chlorures, étaient extrêmement résistantes, elles n'ont été que lentement dissociées par l'action des pluies. Elles m'ont rappelé celles, que j'ai observées sur la côte nord-ouest de la Martinique ⁽¹⁾, dans la région parcourue par les Nuées ardentes de 1902; mais le chlorure de sodium avait dans celles-ci une autre origine, puisqu'il provenait de l'eau de la mer montant par capillarité dans les matériaux à haute température apportés par les explosions péleennes.

Sylvite et halite. — Le grand intérêt de ces sels se concentre sur ceux d'un bloc, ayant environ 2^m de plus grand diamètre, que j'ai trouvé au-dessous des précédents; je l'ai fait débiter en partie par quelques coups de mine, et ce qui en est resté a fourni pendant les jours suivants un très grand nombre d'échantillons, vendus par les guides aux visiteurs. Ce bloc était constitué non par une brèche, mais par une leucittéphrite rougeâtre, extrêmement bulleuse, creusée de vastes cavités imparfaitement remplies par des chlorures. Celui qui domine de beaucoup est la *sylvite*, il constitue des cubes qui dépassent parfois 2^{cm}. Ils ont les faces nettes et brillantes, mais beaucoup d'entre eux sont polysynthétiques; d'autres présentent des faces arrondies d'un hexoctaèdre indéterminable. Ils possèdent un clivage cubique extrêmement facile.

⁽¹⁾ *La Montagne Pelée*, p. 408, et *Bull. Soc. franç. Minér.*, t. XXVIII, 1905, p. 68. Ces brèches étaient toujours vacuolaires, le sel ne remplissant jamais complètement les intervalles de leurs éléments silicatés : il s'isolait dans les cavités en petits cristaux nets.

Ces cristaux sont soit transparents et incolores, soit opalescents et d'un blanc bleuâtre; parfois alors ils sont seulement translucides et rappellent la calcédoine de Treszytan. Cette coloration n'est pas homogène; elle est distribuée suivant des plans d'accroissement parallèles aux faces *p* (100) et alternant avec des zones limpides. Les parties qui sont opalescentes par réflexion ne renferment aucune inclusion distincte qui puisse expliquer leur aspect; en lumière transmise, elles ont une teinte jaunâtre. Cette structure est comparable à celle des cristaux de halite des salines de Dieuze que j'ai décrits et figurés dans ma *Minéralogie de la France* ⁽¹⁾.

La sylvite ne tapisse pas seulement de grandes géodes à l'état de cristaux distincts; elle forme aussi un glaçage à la surface de toutes les cavités de la roche. Dans ce cas, il n'est pas possible de distinguer de formes géométriques; mais, grâce aux clivages, on voit que là encore les individus cristallins constituants sont de grande dimension, et souvent même il n'en existe qu'un seul dans une vaste cavité. Cette structure rappelle celle de certaines zéolites dans les amygdales des basaltes; mais, au point de vue du mode de formation, il serait plus exact de la comparer à celle que présente fréquemment l'anorthite dans les cavités des blocs métamorphiques à pyroxène et biotite de la Somma.

Dans plusieurs échantillons, les cristaux de sylvite sont recouverts par de gros cubes, à *faces planes*, transparents, incolores ou légèrement jaunâtres, de *halite*, présentant les faces de l'octaèdre régulier, si rares dans le chlorure de sodium.

A. Scacchi a publié le résultat de nombreux essais et

(¹) T. II, 1897, p. 762, figure 14.

analyses des chlorures alcalins du Vésuve et montré que celui de sodium pur y est extrêmement rare, qu'il est toujours accompagné de chlorure de potassium et même que ce dernier domine généralement. Le rapport K : Na oscille entre 10 : 0,62 et 10 : 9,48, dans les échantillons analysés, qui ont été prélevés dans le volcan, de 1830 à 1872. Mais ces minéraux n'avaient été trouvés que sous forme d'enduits, de stalactites, plus rarement de petits cubes; jamais l'on n'avait observé, jusqu'en 1906, de cristaux pouvant approcher, comme taille et comme perfection, ceux que je décris ici ⁽¹⁾.

Ceux de sylvite ne peuvent être comparés qu'aux cristaux de Stassfurth, formés dans des conditions si différentes.

Les propriétés bien connues des chlorures de potassium et de sodium, qui ne cristallisent pas ensemble, devaient faire penser que les échantillons analysés par A. Scacchi constituaient de simples mélanges de cristaux des deux sels, impossibles à distinguer les uns des autres, à cause de leur petitesse et de l'identité de leurs formes. L'étude de mes échantillons vérifie cette hypothèse; ceux de chlorure de sodium ne donnent aucun précipité par le chlorure de platine et par suite ne contiennent pas trace de potassium. Un cristal de sylvite a été analysé, il ne renferme que 2,66 de chlorure de sodium; celui-ci y existe certainement à l'état d'impuretés, car l'indice de réfraction, pour la lumière du sodium, est de 1,491, c'est-à-dire exactement celui de la sylvite pure (1,49044, raie D, Tschermak). Aussi, ne puis-je souscrire aux conclusions de M. Johnston Lavis, qui a

(¹) En relatant mes observations, M. Zambonini signale l'existence, dans la collection de l'Université de Naples, d'un fragment de leucittéphrite recueilli lors de l'éruption de 1861, mais non décrit encore, et renfermant des cristaux de sylvite qui mesurent 5^{mm} de côté et présentent les mêmes particularités que celles exposées ici; ils sont aussi associés à de la halite. Dans quelques autres échantillons, le chlorure de sodium domine sur celui de potassium.

publié ⁽¹⁾ l'analyse d'un échantillon provenant certainement du même bloc que les miens, et dans lequel il a indiqué 12,02 pour 100 de NaCl. Il le considère comme une espèce distincte (*choronatrokalite*), dont la formule serait $6KCl \cdot NaCl$. Il s'agit là évidemment d'un mélange des deux sels.

En outre de ces chlorures et d'une petite quantité de chlorures de magnésium et de calcium ⁽²⁾ et de divers sulfates, qui ne peuvent être mis en évidence que par voie chimique ⁽³⁾, je signalerai les deux raretés suivantes parmi les échantillons que j'ai recueillis.

Pseudomorphoses d'un minéral indéterminé. — Une géode supporte de gros cristaux (1^{cm},5) blancs, opaques, ne renfermant que du chlorure de sodium; ils rappellent le rhomboèdre $b^1(01\bar{1}2)$ de la calcite. Sont-ce véritablement des rhomboèdres ou bien des prismes monocliniques, pseudorhomboédriques, réduits aux formes $p(001)$, $m(110)$? Il est impossible de le savoir, car ils ne peuvent être mesurés exactement; leur surface est, en effet, irrégulière; ils sont entièrement transformés en un agrégat saccharoïde de petits cubes de halite, distribués sans ordre. On peut se demander si ces cristaux représentent les restes d'une forme inconnue de chlorure de sodium, stable seulement à haute température et se transformant par refroidissement en la forme cubique, ou bien s'ils ne constituent pas plutôt une pseudo-

⁽¹⁾ *Nature*, 21 juin 1906.

⁽²⁾ C'est à ces deux chlorures que sont dus les phénomènes de déliquescence que présentent ces échantillons quand on les laisse exposés à l'air humide.

⁽³⁾ J'ai traité par l'eau distillée environ 2^{kg} de la roche en question et ai abandonné à une lente cristallisation la solution ainsi obtenue. Jusqu'à présent, il s'en est déposé d'abord du KCl en cubes à faces planes, puis des trémies cubiques de NaCl, associées encore à du KCl, enfin de gros cristaux monocliniques [$m(110)$, $h^1(100)$, $g^1(010)$, $p(001)$, $a^2(\bar{2}01)$, $e^1(011)$] du sulfate double : K^2SO_4 , $MgSO_4$, $6H^2O$ (*picromérite*) isomorphe de la *cyanochroïte* dont il a été question plus haut.

morphose d'un autre sel entièrement disparu; je ne puis que poser la question.

Chloromanganokalite. — A l'inverse du précédent, le second minéral observé est de formation antérieure à la sylvite qui l'englobe toujours; il se présente en cristaux transparents, d'un jaune citron, se ternissant très rapidement à l'air; ils atteignent 2^{mm} de plus grande dimension. Ils sont monocliniques, pseudoternaires, allongés suivant l'axe vertical; dans la zone verticale, il n'existe que $m(110)$ et $g^1(010)$ ($mm = 120^\circ$ environ), le pointement est souvent réduit à trois faces simulant un rhomboèdre obtus; je n'ai pu réussir aucune mesure précise par suite de la trop rapide altérabilité du minéral. Pour la même raison, je n'ai pu tailler aucun d'entre eux dans une direction déterminée et, comme il n'existe pas de clivage, j'ai dû me contenter d'examiner des fragments de cristaux concassés et immergés dans le baume du Canada. La bissectrice aiguë est *positive* et paraît voisine de l'axe vertical; l'écartement des axes optiques est faible. Il n'existe pas de pléochroïsme. La biréfringence est peu élevée et la réfringence supérieure à celle de la sylvite. Au point de vue chimique, c'est un chlorure de potassium et de manganèse, avec un peu de sodium.

Ce minéral ne correspond à aucune espèce antérieurement connue. M. Johnston Lavis m'a devancé de quelques jours ⁽¹⁾ dans sa description; il existe bien quelques différences entre les résultats auxquels je suis arrivé et les siens, mais il s'agit sans aucun doute du même minéral, puisque nos échantillons proviennent du même bloc. M. Johnston Lavis décrit en effet sa *chloromanganokalite* comme une substance rhomboédrique, jaune, englobée dans du chlorure de sodium

(¹) *Nature*, t. LXXIV, 1906, p. 103.

potassique (ma sylvite), et il lui attribue la composition suivante :



avec de très petites quantités de chlorure de magnésium et de sulfate de sodium. Les cristaux que j'ai étudiés et qui sont englobés dans de la sylvite sont certainement anhydres. Fortement chauffés sur une lame de verre, ils ne perdent ni leur transparence, ni leurs propriétés optiques; dans le tube, ils décrépitent, sans donner d'eau, puis fondent en un liquide clair, qui, par refroidissement, se consolide en cristallites monoréfringents.

Tous ces chlorures, arrachés par les explosions aux parties internes du cône, se sont produits à haute température par fusion et volatilisation; ils renferment des inclusions gazeuses et d'autres globulaires originellement vitreuses, en partie transformées en produits biréfringents; la leucite de leur gangue est intacte; ils ne résultent donc pas d'une décomposition sur place de la roche qui les renferme.

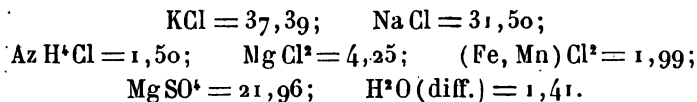
La perfection et les grandes dimensions de ces cristaux, comparées à la forme indistincte et aux faibles dimensions que présentent généralement ceux des mêmes chlorures observés antérieurement au Vésuve, s'expliquent par ce fait que ces derniers ont été recueillis, soit sur les bords du cratère, soit à la surface de laves épanchées, tandis que ces nouveaux spécimens proviennent de régions profondes, inaccessibles à l'observation directe, où ils ont pu se former à plus haute température et, en tous cas, plus lentement, à l'abri des causes variées de perturbation qui agissent à la surface.

L'abondance du chlorure de potassium, sa prédominance fréquente sur le chlorure de sodium parmi les produits d'un volcan à magma leucitique ne sont pas pour surprendre;

mais il n'est pas superflu d'insister sur la portée de ces faits, précieux pour la discussion des théories, qui cherchent l'origine des éléments des fumerolles volcaniques ailleurs que dans le magma lui-même.

Il y a lieu de faire remarquer la présence du chlorure de manganèse ⁽¹⁾ au milieu des chlorures alcalins et son apparition dans les fumerolles avant celui de fer.

Le bloc dont les minéraux viennent d'être décrits est le seul du même genre que j'ai observé moi-même, mais il a dû en être rejeté d'autres, car, au cours d'une excursion que j'ai faite avec M. Brun, à la fin d'avril, nous avons acheté à un guide un échantillon analogue, quoique non identique. M. Brun a donné l'analyse suivante des sels (22 pour 100) imprégnant cette roche ⁽²⁾ :



Enfin, j'ai recueilli un échantillon, fortement altéré par des fumerolles chlorhydriques, qui est creusé de quelques géodes tapissées d'hématite et renferme en assez grande abondance de la sylvite en *octaèdres* réguliers, blancs tachetés de jaune et opaques : ces octaèdres, clivables suivant les faces du cube, sont profondément engagés dans la gangue.

En terminant, je signalerai des échantillons de leucitté-

⁽¹⁾ Il est possible que le nouveau minéral manganésifère se soit trouvé parmi les produits de l'éruption de 1822, car Monticelli et Covelli (*Storia dei fenomeni del Vesuvio*, 1821-1822, Napoli, 1823, p. 132) ont signalé l'abondance des sels de manganèse (chlorures et sulfates) mélangés aux chlorures alcalins qu'ils ont étudiés : ils ne parlent malheureusement pas de la forme minéralogique, sous laquelle ces sels se présentaient.

⁽²⁾ *Quelques recherches sur le volcanisme* (Arch. Sc. phys. nat. Genève, t. XXII, p. 106).

phrites, dont les cavités sont tapissées de cristaux indistincts des deux chlorures alcalins, mélangés à de petits cristaux d'un blanc rosé d'un sulfate également alcalin que je n'ai pas isolé en quantité suffisante pour pouvoir l'étudier complètement. En écrasant le mélange de ces minéraux, j'ai constaté seulement que ce dernier sel est optiquement positif et à deux axes optiques rapprochés : ce n'est donc pas l'aphthitalite, qui est uniaxe, mais probablement une forme orthorhombique semblable à celle (arcanite) du sulfate de potasse.

Anhydrite. — Je rapporte à ce type de fumerolles la production de beaux cristaux d'anhydrite, que j'ai rencontrés dans deux blocs bulleux de leucittéphrite : ces derniers sont un peu rubéfiés, mais l'examen microscopique montre que leur leucite est intacte. Leurs cavités sont tapissées de petits cristaux indéterminables du mélange de sulfates et de chlorures, dont je viens de parler : ils supportent çà et là quelques lamelles d'hématite.

L'anhydrite forme des lames transparentes et éclatantes, atteignant 1^{cm} de plus grande dimension sur 1^{mm} d'épaisseur. Il n'en existe souvent qu'une par cavité, alors que dans d'autres cas on en voit plusieurs enchevêtrées. Elles n'ont qu'exceptionnellement des formes nettes, car elles touchent par tous leurs bords aux parois de la cavité.

L'aplatissement est parallèle au plan des axes optiques, c'est-à-dire à g^1 (010); le seul cristal complet que j'ai pu détacher ne présente, en outre de g^1 , que des faces p (001) et h^1 (100). Les trois clivages sont faciles à déterminer. L'étude microscopique de la roche montre que l'anhydrite s'est développée aussi dans la pâte de celle-ci.

J'ai trouvé en abondance le même minéral dans les druses des blocs à silicates néogènes, si fréquents parmi les produits de projection de cette éruption : son enchevêtrement

avec ces minéraux métamorphiques, et notamment avec la microsommité, montre que tous ces minéraux sont de formation contemporaine, mais que la cristallisation se termine fréquemment par la production d'anhydrite. Les plus belles lames que j'ai observées dans cette catégorie de roches se trouvent dans des cavités riches en cristaux récents de biotite jaune d'or.

Cette anhydrite paraît ressembler beaucoup à celle que A. Scacchi a trouvée ⁽¹⁾ dans un bloc de 1872, associée aux minéraux suivants : *hématite*, *méroxène*, *bélonésite*, *cryphiolite*.

Certains de ces cristaux d'anhydrite sont recouverts d'une croûte de gypse résultant de leur hydratation (probablement postérieure à l'éruption).

Trona. — Enfin, M. Zambonini a recueilli, dans l'*Atrio del Cavallo*, près de la coulée de 1895, des croûtes blanches, friables, de thermonatrite ($\text{Na}^2\text{CO}^3 + \text{H}^2\text{O}$), accompagnée de trona (Na^2CO^3 , $\text{NaHCO}^3 + 2\text{H}^2\text{O}$). Ce dernier minéral ayant été rencontré par M. Matteucci ⁽²⁾ dans une fissure de la lave de 1895, il est possible que l'échantillon étudié provienne de cette coulée.

Je profite de cette occasion pour faire remarquer l'intérêt qu'il y aurait à rechercher la forme minéralogique *originelle* du carbonate de sodium dans les fumerolles à sels alcalins; il

⁽¹⁾ *Atti R. Accad. Sc. Napoli*, t. I, n° 5, 1883. J'ai examiné un échantillon de cette roche que possède la collection du Muséum; j'ai pu ainsi déterminer les propriétés optiques de la *bélonésite* (MgMO^+); ce minéral quadratique, se clivant suivant les faces du prisme dominant, est uniaxe et optiquement positif. La roche renferme comme élément microscopique de la *pseudobrookite*, minéral qui a été signalé déjà par Krenner; c'est probablement sur l'observation de ce savant, qui a trouvé deux petits cristaux seulement de ce minéral sur un fragment de l'*enclave* en question, que la *pseudobrookite* est indiquée par Dana comme existant *dans la lave de 1872*.

⁽²⁾ *Rend. R. Accad. Sc. Napoli*, t. II, 1897.

doit très probablement venir de la profondeur à l'état de carbonate neutre anhydre, mais celui-ci n'y a jamais été minéralogiquement constaté. Il ne doit pas être dû à une réaction secondaire superficielle, car M. Fouqué⁽¹⁾, qui est, je crois, le premier à avoir signalé l'existence d'un carbonate dans cette catégorie de fumerolles⁽²⁾ (éruption de l'Etna en 1865), l'a rencontré non seulement dans celles des cratères, mais encore dans les blocs de projection à haute température. Mon regretté maître a fait d'ailleurs remarquer qu'il n'y constitue qu'un produit transitoire, très rapidement transformé en chlorures et en sulfates par les acides libres des fumerolles.

II. — Les minéraux des fumerolles acides.

Les fumerolles acides qui, au cours du refroidissement du magma, succèdent dans le temps aux précédentes, sont essentiellement caractérisées par l'abondance d'acides libres (chlorhydrique d'abord, puis sulfureux) et l'absence des apports de sels alcalins, spécifiques des fumerolles plus chaudes. Elles présentent, avec ces dernières, des différences capitales; celles-ci, en effet, au voisinage de la surface, là où l'on peut les observer directement, n'agissent que par apport de substances volatiles venant de la profondeur, tandis que les fumerolles acides sont surtout caractérisées par des produits résultant de l'attaque violente des roches au milieu desquelles elles sortent, ce qui n'exclut pas, bien entendu, les apports profonds, mais ceux-ci sont généralement peu importants, quand on les compare aux éléments empruntés aux

(1) Op. cit., p. 24.

(2) Plus tard, Palmieri a constaté la même association de carbonates et de chlorures alcalins au Vésuve (*Rend. Accad. Scienz. Napoli*, t. XII, 1873, p. 92). Quant au natron et à la thermonatrite de la lave de 1859, ils n'ont été décrits qu'en 1888 par M. A. Scacchi (*Id.*).

roches en place. De plus, les fumerolles à haute température étant les premières venues, il est possible de déterminer sans aucune hésitation ce qui leur est dû, quand on peut les saisir au cours de leur fonctionnement; tandis que les fumerolles acides, succédant aux précédentes, superposent leurs produits à ceux apportés avant elles et réagissent sur eux.

Aucun volcan ne fournit plus de facilité que le Vésuve pour l'étude de ces réactions, à cause de l'abondance des sels de potassium, dus aux fumerolles à haute température, auxquels se joignent ceux produits par l'attaque de la leucite par les vapeurs acides et à cause aussi de la facilité avec laquelle ils forment des sels doubles avec le fer, le cuivre, le magnésium, etc.

La limite inférieure de température des fumerolles précédentes est étroitement déterminée par le point de volatilisation des chlorures qui les caractérisent et, en particulier, par celui des chlorures alcalins; les roches d'où émergent ces fumerolles ne sont pas corrodées, elles se présentent généralement avec un aspect tout à fait intact.

Dans le cas des fumerolles acides, au contraire, la bouche de sortie, où la température est élevée de quelques centaines de degrés, est bordée par une zone, dans laquelle l'activité chimique résultant de l'attaque de la lave va en croissant. Il est ainsi possible de trouver dans ces fumerolles toute une série de produits différents, les uns formés à la température maximum de ces fumerolles, les autres à des températures de moins en moins élevées; il semble même que le maximum d'action sur les roches ambiantes se trouve extérieurement, là où la vapeur d'eau commence à se condenser, ce qui permet la formation de sels hydratés.

J'ai personnellement observé ces fumerolles acides aux bouches de Cognoli, dans des fentes voisines de l'emplace-

ment de la Casa Fiorenza, et surtout dans les fissures ouvertes dans le flanc nord-est du cône, tout près du bord du cratère, au-dessous du point le plus bas de celui-ci. Lorsque j'ai visité ce dernier gisement, le 3 mai, la surface du sol était couverte par des cendres, rendant difficiles la marche et la récolte des échantillons; la température maximum était supérieure à 400° C. Depuis lors, mes collections ont été complétées par de nombreux échantillons, recueillis par le guide Sonnino; la nature des minéraux est d'ailleurs la même dans les échantillons recueillis ainsi à de nombreux mois de distance.

On a vu, page 221, que, sur les bords mêmes du cratère, les pluies et les éboulements ont fait disparaître, quelque temps après l'éruption, la couverture superficielle des produits projetés et mis à nu, pendant plusieurs mois, une coulée de lave dans les fentes de laquelle se sublimaient des sels alcalins.

Cette observation est intéressante en ce qu'elle permet de suivre, suivant une verticale, les variations de composition d'une fumerolle en fonction de la distance au centre d'émission. Elle légitime l'opinion si nettement formulée par M. Fouqué, dès 1865, à savoir que les fumerolles acides ne se distinguent des fumerolles plus chaudes que parce que, leur température étant moins élevée, la volatilisation des sels alcalins n'y est plus possible.

A l'inverse des fumerolles acides de Cognoli, qui, s'élevant directement de la lave, étaient des fumerolles vieilles, celles que j'ai observées en mai 1906, sur les bords du cratère, étaient l'épanouissement superficiel des fumerolles plus chaudes sous-jacentes et leurs produits échappaient, par suite, à ce mélange des sels de deux catégories successives de fumerolles dont j'ai parlé plus haut.

Les chlorures.

Les produits les plus abondants étaient des chlorures plus ou moins déliquescents, colorés en jaune. Ils imprégnaient les cendres ou les scories qui, au commencement de mai, étaient relativement peu attaquées; les échantillons de celles-ci, recueillis à partir d'août, le sont au contraire beaucoup. Les mêmes chlorures formaient aussi à eux seuls des masses stalactiformes, rougeâtres ou jaunes.

L'analyse en bloc montre que ces chlorures sont les mêmes que ceux qui ont été observés dans toutes les éruptions antérieures (¹); ceux de fer et de potassium dominant, mais il existe toujours une quantité variable et souvent élevée de chlorures de sodium, d'aluminium, de calcium, une proportion plus faible de chlorure de magnésium; enfin, ils sont accompagnés parfois de traces de chlorure de manganèse et de chlorure cuivrique.

Il est vraisemblable que le chlorure de fer anhydre (*molybite* = FeCl^3) existait dans les scories recouvertes de réalgar que nous avons extraites de la fumerolle encore assez chaudes pour enflammer du papier par simple contact; mais, mes échantillons n'ayant pas été mis sur place dans des flacons scellés, dès le soir, ils commençaient à suinter et ce minéral, s'il y a existé, n'était plus perceptible.

Le procédé d'observation dans le laboratoire qui m'a donné les meilleurs résultats consiste à écraser les croûtes cristal-

(¹) Au cours de l'éruption de 1872, Palmieri a trouvé, dans les cavités d'une scorie, un liquide jaune, en ébullition à 120° C., se solidifiant par refroidissement, mais tombant en déliquescence au contact de l'air. Scacchi l'a analysé, ainsi que d'autres chlorures mélangés; il y a trouvé les sels qui viennent d'être cités, avec prédominance des chlorures de fer, de potassium et d'aluminium; dans d'autres échantillons, la proportion du chlorure de calcium était assez élevée; celle du chlorure de magnésium ne dépassait jamais 6,5 pour 100. Il existait toujours, en outre, une petite quantité de fluor.

lines préalablement desséchées et à les examiner rapidement, soit à sec, soit après immersion dans l'acide chlorhydrique. De nombreux essais de recristallisation ont été effectués à chaud et en solution très riche en acide chlorhydrique; à l'inverse de ce qui a lieu pour les fumerolles les plus chaudes, pour l'étude de cette catégorie de fumerolles, la méthode de recristallisation fournit des résultats comparables à ceux réalisés dans la nature, car les produits que l'on recueille dans les parties les moins chaudes des fumerolles acides sont déjà des minéraux secondaires hydratés formés aux dépens des chlorures anhydres.

Erythrosidélite. — Le minéral que A. Scacchi a décrit, à la suite de l'éruption de 1872, sous le nom d'*érythrosidélite* ($2 \text{ KCl}, \text{FeCl}^3 + \text{H}^2\text{O}$), est de beaucoup celui dont la formation est la plus générale : c'est lui qui colore la plupart des croûtes que nous étudions. Il formait des croûtes épaisses d'un rouge orangé, stalactiformes, à cassure très cristalline; il y était mélangé avec d'autres chlorures; il tapissait aussi de ses petits cristaux les cavités des scories, il était alors associé au réalgar et au soufre, et généralement alors de couleur orangée plus claire. A. Scacchi a décrit les cristaux orthorhombiques de 1872 comme aplatis suivant h^1 (100) et comme présentant les faces m (110), a^1 (101) et a^2 (102). Mes cristaux, fort déliquescents, ne se prêtent pas à des mesures précises; ils sont allongés suivant l'axe c , aplatis suivant une face de la zone verticale correspondant à h^1 dans la position adoptée par A. Scacchi. Je me suis attaché à déterminer les propriétés optiques de ce corps qui n'avait pas été étudié à ce point de vue et je me suis servi pour cela soit de cristaux naturels, soit de ceux que j'ai obtenus par recristallisation : ces derniers sont d'un rouge admirable, rappelant celui de la crocoïte. Vus par transparence, ils sont d'un jaune orangé et non pléochroï-

ques, sauf sous une grande épaisseur; leur biréfringence est élevée. Le plan des axes optiques est parallèle à $p(001)$, c'est-à-dire transversal à leur allongement. La bissectrice aiguë négative est normale à h^1 ; l'écartement des axes est assez grand ($2E > 130^\circ$). La dispersion est très forte, avec $\rho < v$; les hyperboles sont colorées en rouge intérieurement et en bleu extérieurement.

Ces propriétés sont très analogues à celles du sel ammoniacal correspondant ($2\text{AzH}^+\text{FeCl}^3 + \text{H}_2\text{O}$), décrit par M. Johnsen (¹), avec cette différence toutefois que cet auteur y signale la bissectrice comme étant positive et ne parle pas de la dispersion.

M. Groth a fait remarquer déjà (²) que le minéral décrit par Kremers (³) et appelé par Kenngott (⁴) *kremersite* ($\text{KCl}.\text{AzH}^+\text{Cl}.\text{FeCl}^3 + \text{H}_2\text{O}$) doit être considéré comme un mélange isomorphe de ce sel ammoniacal et de l'érythrosidélite. Ces savants l'ont, il est vrai, décrit comme cristallisant en octaèdres réguliers (rouge rubis), souvent déformés par allongement suivant un axe binaire, mais le sel ammoniacal et le sel potassique se déposent de leurs solutions aqueuses sous forme de pseudooctaèdres, résultant de la combinaison de $m(110)$ et de $e^1(011)$; aussi n'est-il pas douteux qu'il faille interpréter ainsi les soi-disant octaèdres de la kremersite, qu'il est d'ailleurs aisé d'obtenir synthétiquement.

J'ai profité de la richesse de certains échantillons en érythrosidélite pour en dissoudre une certaine quantité et pour faire recristalliser ce minéral.

(¹) *Neues Jahrb. f. Min.*, 1903, t. II, p. 97.

(²) *Chemische Krystallographie*, t. I, 1906, p. 427.

(³) *Poggend. Ann.*, t. LXXXIV, 1851, p. 79.

(⁴) *Das Mohs'sche Mineral. System.*, t. IX, 1853.

Les cristaux obtenus de cette première dissolution renferment non seulement l'érythrosidérite, mais encore tous les sels qui l'accompagnent dans la fumerolle; ils forment de gros cristaux allongés suivant l'axe vertical et présentent de larges faces $h^1(100)$, avec $m(110)$, $g^1(010)$, $a^2(102)$, $a^1(101)$, $e^1(011)$.

Ces cristaux, soigneusement triés, ont été redissous dans un mélange d'eau et d'acide chlorhydrique: j'ai obtenu ainsi des cristaux à facies pseudo-octaédriques ne présentant plus que les faces $m(110)$ et $e^1(011)$, avec fréquent allongement suivant une arête $e^1 e^1$; c'est aussi la forme que l'on obtient le plus facilement par cristallisation rapide sur une lamelle de verre.

Ce sel ne se forme qu'en présence d'un excès d'acide chlorhydrique; de sa dissolution dans l'eau distillée, il se dépose des cubes de chlorure de potassium.

Chloraluminite. — Dans son étude des produits salins de l'éruption de 1872, A. Scacchi, en signalant l'abondance du chlorure d'aluminium et l'existence de celui de magnésium, a proposé de désigner ces sels sous le nom de *cloralluminio* (*chloraluminite*) et de *cloromagnésite* (*chloromagnésite*), bien qu'ils n'aient pas été observés sous une forme minéralogique; il leur a attribué respectivement la composition $AlCl^3, xH^2O$ et $MgCl^2, xH^2O$.

Dans des croûtes stalactiformes de couleur jaune clair, j'ai rencontré en grande abondance le chlorure d'aluminium sous forme cristallisée. Il constitue des rhomboèdres obtus, incolores, à arêtes culminantes souvent arrondies (commencement de dissolution), permettant facilement de déterminer le signe négatif de leur axe optique unique; leur biréfringence est élevée. Ces propriétés optiques concordent avec celles du chlorure $AlCl^3, 6H^2O$ décrit par MM. Dennis et

Gill (¹), qui ont trouvé pour valeur de l'angle du rhomboèdre $pp = 125^{\circ}48'$ et pour la biréfringence $n_g - n_p = 0,053$. La forme des cristaux préparés par le procédé indiqué par ces savants (solution aqueuse du chlorure, saturée de H Cl gazeux et refroidie), diffère de celle de la plupart des cristaux naturels, formés à une température plus élevée, en ce qu'ils sont allongés suivant l'axe vertical et constitués par la combinaison de d' et de p : cette combinaison se rencontre d'ailleurs parfois accidentellement dans les cristaux du Vésuve.

Cette observation fixe d'une façon définitive l'existence de la chloraluminite comme minéral et fournit ses propriétés.

Autres chlorures. — L'érythrosidélite et la chloraluminite sont associées à d'autres chlorures que je n'ai pas encore identifiés et dont je poursuis l'étude; l'un d'eux, formant peut-être un sel double avec le chlorure de potassium, paraît être un hydrate de chlorure de calcium. Le CaCl_2 anhydre (*chlorocalcite*) a été observé en 1872 par A. Scacchi et Palmieri en beaux cristaux cubiques dans des fumerolles à très haute température, mais il n'est pas stable dans les conditions où se sont produits les minéraux qui viennent d'être étudiés, et ce sel ne peut s'y trouver qu'à l'état hydraté.

Les sulfures et le soufre.

Réalgar. — L'une des caractéristiques des fumerolles acides de 1906, que j'ai antérieurement signalée, a été l'abondante production du réalgar, minéral rarement observé au Vésuve. Breislak l'a signalé (²) à la suite de l'éruption de 1794, Monticelli et Covelli (³) après celle de 1822; mais A. Scacchi (⁴),

(¹) *Zeitschr. f. anorg. Chem.*, t. IX, 1895, p. 340.

(²) *Voyages physiques et lytologiques en Campanie*, t. I, 1801, p. 233.

(³) *Prodromo Miner. vesuviana.*, Napoli, 1825, p. 36.

(⁴) *Neues Jahrb. f. Miner.*, 1888, t. II, p. 139.

dans son *Catalogue*, ne le cite que d'après ces auteurs, sans ajouter d'observation nouvelle (1).

Ce minéral se présente sous deux formes : à l'état fondu dans les parties les plus chaudes des fumerolles et en cristaux dans celles dont la température est moins élevée.

La forme fondue constitue soit des enduits très minces, soit des croûtes bulleuses, dont l'épaisseur peut dépasser 1^{cm}; sa couleur varie de l'orangé au rouge sombre.

Quelques croûtes bulleuses sont formées en partie par du réalgar pur et en partie par une substance d'un jaune foncé, un peu verdâtre (jaune d'or en lames minces) (mélange fondu de soufre et de réalgar).

Le réalgar en cristaux distincts n'est que rarement associé à la forme fondue; ses cristaux sont, soit d'un rouge vif de cinabre, soit d'un rouge orangé et de couleur assez pâle quand ils sont fort petits; leur couleur se rapproche alors beaucoup de celle de la pyromorphite ferrique de Leadhills; ils sont généralement de très faibles dimensions, atteignant rarement 1^{mm}. M. Zambonini a publié la description de quelques-uns de ces cristaux, dans lesquels il a observé les formes suivantes : h^1 (100), g^1 (010), p (001), $h^{\frac{5}{3}}$ (410), h^2 (210), h^7 (430), m (110), g^5 (230), a^1 ($\bar{1}01$), $a^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{2}01$), $b^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}11$), e^2 (012), f (212), n ($\bar{2}12$). Les faces h^1 , g^1 , p , $b^{\frac{1}{2}}$ et $h^{\frac{5}{3}}$ sont constantes.

Les cristaux sont aplatis suivant h^1 , et parfois légèrement allongés suivant l'axe vertical; ceux que j'ai personnellement observés concordent bien avec cette description. C'est à juste titre que M. Zambonini a fait remarquer que cet apla-

(1) Il faut noter cependant que Palmieri a signalé la présence de l'arsenic dans le résidu insoluble dans l'eau des fumerolles acides de 1872, mais il n'a pas précisé la nature du minéral arsenical.

tissement suivant h^1 est tout à fait caractéristique des cristaux récents, qui diffèrent par suite de ceux, pauvres en faces, des fumerolles de la Guadeloupe, que j'ai décrits autrefois ⁽¹⁾, aussi bien que de ceux, très riches en formes, de la Solfatare de Pouzzoles, étudiés par A. Scacchi; dans tous ceux-là, non seulement il n'y a pas d'aplatissement, mais la forme h^1 (100) est généralement absente.

M. Zambonini croit voir dans les cristaux de la Guadeloupe une certaine analogie de forme avec ceux trouvés par Monticelli et Covelli après l'éruption de 1822, et il attribue la différence de forme existant entre ces vieux cristaux et les nouveaux à l'influence de la température à laquelle s'est effectuée la cristallisation. Il est bien vraisemblable que l'aplatissement suivant h^1 doit être réellement considéré comme caractéristique des cristaux formés par sublimation à la plus haute température possible; j'ai eu, en effet, l'occasion d'étudier récemment un assez grand nombre de beaux cristaux du réalgar des houillères embrasées de Decazeville, de Lasalle (Aveyron) et de la Chazotte (Loire), dont il va être question plus loin; ils sont souvent de grande taille et alors leurs formes ne peuvent pas toujours être déterminées avec précision, sauf toutefois en ce qui concerne leur constant aplatissement suivant h^1 , encore plus grand que dans les cristaux du Vésuve. Quelques-uns présentent le même développement que ces derniers, c'est-à-dire que leur face h^1 est à peu près également développée suivant les axes b et c ; mais, le plus souvent, ils sont très allongés suivant l'axe vertical, constituant de longues lamelles très minces.

L'abondance du réalgar parmi les produits de cette éruption est intéressante aussi à cause de la rareté de ce minéral dans les fumerolles volcaniques en général. Il est surtout

(¹) *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. II, 1897, 441 fig.

connu à la fumerolle de la Bocca della Solfatara, à Pouzzoles, dont les cristaux ont été décrits par A. Scacchi ⁽¹⁾ et par M. Fletcher ⁽²⁾. Il a été aussi signalé à Vulcano ⁽³⁾, à la Guadeloupe et enfin à l'Etna ⁽⁴⁾, où il est tout à fait exceptionnel.

A Pouzzoles, il n'a été rencontré qu'en cristaux dans des fumerolles sulfhydriques à température ne dépassant pas 160° C.; il y est accompagné de *salmiac*, de *mascagnite* et de *tschermigite*.

Il n'existe pas de renseignements positifs sur les conditions dans lesquelles le réalgar a été trouvé à la Guadeloupe. L'échantillon que j'ai décrit ⁽⁵⁾, et qui est entré dans la collection du Muséum en 1804, provient probablement de l'éruption de 1797. Les cristaux sont implantés, avec orpiment, sur une roche entièrement attaquée par les vapeurs acides et transformée en opale : cela indique une période avancée dans l'évolution de la fumerolle et rend probable l'analogie des conditions de leur formation avec celles des cristaux de la solfatara de Pouzzoles. Quand, en 1902, j'ai étudié sur place les fumerolles de la Guadeloupe, leur température était un peu inférieure à 100° C. et il ne s'y sublimait que du soufre.

La présence du réalgar au Vésuve dans de semblables conditions montre que la limite supérieure de la production de ce minéral, déterminée par son point de fusion (voisin de 295° C.), doit être reportée jusqu'aux fumerolles acides, où il peut se sublimer dans les parties les moins chaudes. D'après

⁽¹⁾ *Rend. Accad. Sc. Napoli*, 1849, p. 110. Les cristaux tapissent les parois de la partie supérieure de fissures qui, en profondeur, sont remplies par du réalgar grenu.

⁽²⁾ *Phil. Magaz.*, t. IX, 1880, p. 186.

⁽³⁾ FOUQUE, *Comptes rendus*, t. LXI, 1865, p. 504. Voir aussi HOFFMANN, *Hinterlassene Werke*, t. II, 1838 p. 476.

⁽⁴⁾ MARAVIGNA, *Mem. orittogn. Etna*. Parigi, 1838, p. 133.

⁽⁵⁾ *La Montagne Pelée*, op. cit., 67.

les observations faites par M. Fouqué en 1865 à Vulcano, il semble que ce minéral s'y produisait alors à peu près dans les mêmes conditions; mon regretté maître l'a signalé, en effet, dans les fumerolles riches en acides chlorhydrique, sulfureux et carbonique, renfermant du chlorure de fer et du salmiac, et dont la température variait entre 360° et 150° C. Malheureusement, il n'a pas donné de renseignements sur la forme présentée par ce sulfure d'arsenic, que je n'ai pu retrouver dans ses collections.

Cette association de l'état fondu ou cristallisé du réalgar doit être comparée à celle qui caractérise une catégorie bien différente de gisement, je veux parler des houillères embrasées du Massif central de la France [environs de Saint-Étienne (Loire), Aubin, Decazeville, Lasalle (Aveyron), Montceau-les-Mines, Perrecy-les-Forges (Saône-et-Loire), etc.], qui ont beaucoup de minéraux communs avec les fumerolles volcaniques, mais dans lesquelles ceux-ci ont une origine fort différente; les uns, en effet, résultent de la combustion de la houille (*salmiac*, *mascagnite*), les autres (*soufre*, *arsenic*, *réalgar*, *galène*, *bismuthinite*, etc.), de l'action de la chaleur sur les sulfures qui accompagnent le combustible fossile; les autres sont formés par l'attaque des roches calcinées par l'acide sulfurique résultant de l'oxydation de l'acide sulfureux produit au cours du grillage des sulfures au contact de l'air (*alunogène*, *halotrichite*, *epsomite*, etc.).

Le réalgar est formé aux dépens des pyrites qui sont souvent un peu arsenicales. Mais, tandis qu'au Vésuve et dans les fumerolles volcaniques en général, il se produit et reste maintenu dans un milieu réducteur, grâce à la persistance du dégagement de l'acide sulfureux d'origine profonde, dans les houillères embrasées, le milieu est souvent assez oxydant pour permettre la production d'anhydride arsénieux, cristallisé soit sous la forme octaédrique (*arsénolite*), soit, plus

rarement, sous la forme monoclinique (*claudétite*); on trouve ces oxydes implantés sur les enduits fondus, ou à la surface des cristaux de réalgar.

Soufre. — Le traitement du réalgar fondu par le sulfure de carbone y met parfois en évidence l'existence de soufre libre, mais c'est naturellement dans les parties moins chaudes des mêmes fumerolles qu'il fallait chercher ce dernier minéral. Il y était du reste (je parle du 3 mai tout au moins) relativement peu abondant. Il constituait surtout de petites masses arrondies par fusion; elles présentent actuellement parfois encore la trace de la forme monoclinique transitoire; elles sont plus ordinairement transformées en groupements à axes parallèles d'un nombre considérable de très petits cristaux rhombiques riches en faces, constituant un gros squelette, à faces discontinues, dont le développement cristallographique est en relation avec la forme de la masse fondue initiale.

La forme dominante est toujours $b^{\frac{1}{2}}$, avec parfois le dôme e^1 très développé.

M. Zambonini a trouvé dans une géode d'une scorie imprégnée de chlorures quelques cristaux ⁽¹⁾ exceptionnellement nets, dans lesquels il a mesuré les formes suivantes: $p(001)$, $g^1(010)$, $m(110)$, $b^{\frac{1}{2}}(111)$, $b^{\frac{5}{2}}(115)$, $b^{\frac{3}{2}}(113)$, $e^1(011)$, $e^3(013)$, $z(135)$, $x(133)$, $q(131)$.

III. — Les minéraux des fumerolles à chlorure d'ammonium.

L'une des particularités les plus frappantes de la coulée de lave de Boscotrecase était l'extrême abondance, dans sa

⁽¹⁾ Ce soufre a parfois la couleur orangée du soufre sélénifère. M. Zambonini y a, d'ailleurs, signalé les réactions du sélénium.

partie terminale, de fumerolles à température inférieure à 300° C.; elles fournissaient de magnifiques sublimations de chlorure d'ammonium (salmiac). Ces fumerolles sortaient des fentes mêmes des fissures de la lave, que j'ai vues par place encore d'un rouge sombre, ou de l'intervalle des blocs fragmentaires ou cinériformes constituant la surface de la coulée. Dans ce cas, en remuant un peu profondément ces petits fragments, on constatait qu'ils étaient, à quelque distance de la surface, enrobés de cristaux transparents de salmiac.

Les fumerolles à chlorure d'ammonium ne dégageaient qu'une faible quantité de vapeur d'eau, donnant une réaction acide au papier de tournesol; mais, après chaque pluie, on voyait s'en échapper d'abondantes vapeurs, d'origine toute superficielle; c'était la répétition d'un phénomène constant dans les fumerolles de la Martinique.

En remontant dans la coulée de Boscotrecase, vers les bouches de Cognoli, on constatait que les fumerolles à salmiac devenaient de moins en moins nombreuses; elles m'ont paru manquer à peu près complètement dans beaucoup des parties hautes. Elles n'étaient, par suite, très abondantes que dans la région où la lave, ayant quitté les coulées anciennes, recouvrait les terrains cultivés ou habités. Palmieri a fait une observation analogue, lors des éruptions de 1868 et de 1872. M. Fouqué a remarqué aussi, au cours de l'éruption de l'Etna en 1865, que les fumerolles à salmiac manquaient presque complètement dans les cratères, dans les parties hautes des coulées, et qu'elles abondaient au contraire dans la région des bois, où elles avaient une odeur empyreumatique des plus caractéristiques; le salmiac coloré en jaune laissait après sublimation un résidu charbonneux léger.

Il semble donc bien difficile d'échapper à cette conclusion que le chlorure d'ammonium de la région de Boscotrecase

n'est pas *exclusivement* d'origine profonde, mais que les matières organiques, recouvertes par la lave, ont eu vraisemblablement une certaine influence sur sa production. C'est là une question qui a été bien souvent discutée depuis les travaux célèbres de Bunsen, et qui ne peut manquer de l'être encore à l'occasion de cette éruption. On peut trouver d'ailleurs une preuve de l'influence incontestable jouée, *dans certains cas*, par des matières organiques dans ce fait que d'épais enduits de salmiac garnissaient les murs des maisons ensevelies par la lave et dans lesquelles la combustion des charpentes et autres objets d'origine végétale s'effectuait lentement.

Cette origine vraisemblablement superficielle d'une *partie* du salmiac de la coulée de Boscotrecase n'infirme d'ailleurs en aucune façon l'existence de chlorure d'ammonium d'origine profonde, qui est *démontrée* par diverses observations. On a vu plus haut que ce sel existe en faible proportion dans les cendres des explosions paroxysmales. M. Brun et M. J. Stoklosa (*op. cit.*) ont fait d'intéressantes expériences montrant sa présence dans la lave elle-même, de même que dans les produits solides de tout genre rejetés par l'éruption récente. Son existence dans le cratère du Vésuve a d'ailleurs été mise en évidence, en 1900, par M. Matteucci ⁽¹⁾, qui a recueilli alors, sur ses bords mêmes, des lapilli recouverts à la fois de salmiac et d'un enduit qu'il a rapporté à un azoture de fer. Enfin, j'ai observé moi-même de petits cristaux du même minéral sur un échantillon d'hématite trouvé, au début de 1906, à l'orifice de sortie de la lave coulant vers le Nord-Ouest.

Le salmiac de 1906 est généralement incolore; parfois, il est teinté en jaune par du chlorure de fer ou par des produits

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. CXXXI, 1900, p. 963.

hydrocarbonés. Les échantillons que les gens du pays offraient en grand nombre aux visiteurs des ruines de Boscotrecase se présentaient avec les deux aspects que l'on a l'habitude de voir dans les échantillons conservés dans les collections; les uns étaient parfaitement limpides, alors que les autres étaient d'un blanc laiteux et plus ou moins opaques; je me suis rendu compte de la cause de cette différence d'aspect en étudiant de près les fumerolles à l'orifice desquelles ce minéral se sublimait.

Les échantillons recueillis dans une fumerolle spontanément refroidie étaient limpides; il en était de même pour ceux que l'on voyait en place dans les parties non superficielles des fumerolles encore chaudes; on pouvait les extraire et les conserver sous cette forme, à condition de les envelopper immédiatement dans de la ouate, sans les laisser refroidir brusquement au contact de l'air. Mais, si l'on extrayait de semblables échantillons, alors qu'ils étaient très chauds, et qu'on les exposait brusquement à l'air, on entendait alors un violent crépitement et l'on voyait les cristaux limpides se fissurer ou se briser et devenir opaques. Je me suis tout d'abord demandé s'il ne se produisait pas là un changement d'état, mais je n'ai pu mettre celui-ci en évidence, s'il existe et je crois qu'il s'agissait plutôt d'un phénomène purement mécanique.

Les formes de ces cristaux sont fort variées d'une fumerolle à une autre, mais constantes dans chacune d'elles; on y rencontre tous les types connus de cristaux avec les formes $p(100)$ (rares), $b'(110)$ ou $a^2(211)$, dominantes, et les macles complexes, à symétrie pseudoternaire, décrites par A. Scacchi dans les cristaux de 1872.

M. Max Bauer, en faisant cristalliser la solution d'un échantillon de ce salmiac (¹), a obtenu de petits cristaux de fluo-

(¹) *Centralblatt für Mineralogie*, 1906, p. 321.

silicate de sodium. M. Quensel ⁽¹⁾ a répété cette expérience sans succès. J'ai moi-même constaté la présence du fluor dans plusieurs croûtes mal cristallisées ⁽²⁾ et j'ai obtenu des résultats négatifs dans un bien plus grand nombre d'autres.

A. Scacchi a déjà signalé l'existence du fluor dans certains échantillons de salmiac des éruptions de 1872, de 1850 et surtout de 1868. Il l'a considéré comme y existant sous la forme de fluosilicate d'ammonium ($2\text{AzH}^+\text{F}^-\text{SiF}_4$), qu'il a appelé *cryptohalite*, mais celui-ci, qui est cubique comme le salmiac, n'a pas été isolé à l'état de minéral individualisé.

J'ai indiqué déjà plus haut que, dans les champs de lave de Boscotrecase, il existait non seulement les beaux cristaux de salmiac, dont il vient d'être question, mais aussi des croûtes compactes ou finement cristallines, riches en chlorures de potassium et de sodium, mélangés à du chlorure d'ammonium; ce sont des restes de fumerolles sèches, auxquels se sont ajoutés les produits des fumerolles que nous étudions ici. Ces croûtes renferment aussi des sulfates, qui existent, au moins en partie, sous forme de sulfate d'ammoniaque (*mascagnite*), qui se sublime avec le salmiac, quand on chauffe dans un tube le mélange des sels; elles sont parfois teintées de vert clair. Quelques autres enduits offrent le même aspect extérieur, mais sont colorés en jaune foncé par du chlorure de fer.

IV. — Les minéraux des fumerolles sulfhydriques.

Soufre. — Enfin, j'ai vu dans les champs de lave de Boscotrecase, mais en très faible quantité, des sublimations de soufre formé là où ne se produisait plus de salmiac; ce

⁽¹⁾ *Id.*, p. 500.

⁽²⁾ M. Brun a trouvé 6,12 pour 100 de fluorure d'ammonium dans le produit de la recristallisation d'une quantité importante de ce minéral.

minéral formait de petits octaèdres rhombiques et plus souvent des cristallites plumeux, exceptionnellement des enduits fondus, à l'orifice de fumerolles sulfhydriques peu actives, dont la température était par suite voisine de 100° ou tout au plus un peu supérieure à 113°. Il serait intéressant de savoir si, depuis lors (milieu de mai 1906), ces fumerolles à soufre natif se sont généralisées avec le refroidissement progressif de la lave, ou si, au contraire, le phénomène ne s'est pas arrêté aux fumerolles ammoniacales.

Il est probable qu'actuellement, dans les parties hautes du cratère, beaucoup des fumerolles que j'ai vues, il y a un an, dans la phase acide, doivent être arrivées à cette période sulfhydrique, caractérisée par l'abondance des dégagements de vapeur d'eau et d'hydrogène sulfuré. J'ai reçu en effet récemment du Vésuve des scories blanches, complètement débarrassées de chlorures; sans que leur texture soit modifiée, elles sont complètement transformées en opale, à l'exception toutefois des phénocristaux d'augite, restés à peu près intacts. Elles sont imprégnées ou recouvertes de soufre en très petits cristaux [$b^{\frac{1}{2}}$ dominant] transparents à faces brillantes, quelquefois réunis en groupes cristallitiques à faces creuses et à arêtes arrondies.

Ces cristaux ont été formés directement par sublimation et diffèrent par suite d'une partie de ceux dont il a été question plus haut. Ils sont, dans quelques échantillons, associés à des lamelles de gypse.

Opale. — Enfin, il me reste à signaler des échantillons de cendres entièrement opalisées que recouvre une croûte continue de *hyalite*, mamelonnée ou fistuleuse, incolore, à éclat un peu nacré. Le même minéral constitue aussi de petits tubercules creux, ouverts à leur partie supérieure en forme de coupe. Cette hyalite, examinée en lumière polarisée

parallèle, présente les phénomènes de biréfringence par trempe si fréquents dans l'opale concrétionnée.

L'opale paraît peu commune sous cette forme au Vésuve. A. Scacchi ne l'a signalée (1) que dans les produits de l'éruption de 1860 et a rappelé à ce propos une observation sur le même sujet faite par Thomson, à la suite du paroxysme de 1794.

Sur la double réfraction accidentelle de la bromyrite;

Par M. Paul GAUBERT.

Les échantillons de bromyrite de la Sierra Gorda (Chili) se présentent en beaux cristaux, habituellement monoréfringents. Sur ceux qui agissent sur la lumière polarisée, on observe des plages tout à fait irrégulières n'ayant aucune relation avec les axes cristallographiques.

Sous l'influence d'une légère pression, les cristaux isotropes deviennent biréfringents; ils reprennent leur état primitif dès que l'action extérieure cesse.

Pour préparer des plaques minces, je me suis servi d'un rasoir et j'ai fait des sections parallèles aux faces de l'octaèdre, très développées dans certains cristaux. La lame ainsi détachée est quelquefois monoréfringente, mais, le plus souvent, elle présente des bandes alternativement isotropes et anisotropes dirigées parallèlement au fil du rasoir. Leur allongement optique est négatif. Parfois on observe trois sortes de bandes se coupant sous un angle de 60° environ, habituellement perpendiculaires aux arêtes $a^1 a^1$ du cristal, mais pouvant aussi être obliques à ces dernières.

(1) *Atti R. Accad. Sc. Napoli*, 4 décembre 1854. Dans cette Note, A. Scacchi a décrit une variété de silice concrétionnée anhydre et amorphe, trouvée par lui dans les fumerolles à chlorures alcalins; il l'a nommée *granuline*, elle accompagnait la *néocyanite* (éruption d'octobre 1854).

Ces bandes sont identiques à celles qui se produisent dans le salmiac, mais sont moins régulières quant à leur direction.

Les cristaux appartenant au système cubique et, en particulier, ceux qui possèdent des clivages donnent des bandes biréfringentes de percussion dont la direction est en relation avec la symétrie du cristal. Avec la bromyrite on a le plus souvent, autour du point où l'aiguille a pénétré dans le cristal, une zone biréfringente circulaire dont l'extinction entre les nicols croisés est celle qui caractérise les sphérolites. L'allongement optique des parties biréfringentes, en partant du point où la pression a été exercée et en allant vers la périphérie, est négatif.

L'action de la chaleur fait disparaître graduellement et définitivement la biréfringence qui réapparaît par l'action de nouvelles pressions ou percussions.

En somme, la double réfraction accidentelle de la bromyrite est différente de celle du sel gemme, de la fluorine, etc., et se rapproche un peu de celle du salmiac; mais, à cause de la grande plasticité des cristaux, elle offre des caractères particuliers, comme l'indépendance de la direction des plages biréfringentes vis-à-vis des axes cristallographiques.

Minéraux nouveaux ;

Par M. P. GAUBERT.

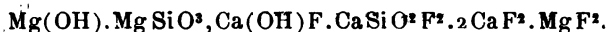
SILICOMAGNÉSIOFLUORITE. — Minéral formant des agrégats fibro-radiés, la plupart du temps demi-sphériques. Les fibres atteignent 1^{cm},5, ont une couleur gris cendre ou vert clair et un éclat soyeux. La dureté est de 2,5 et la densité, 2,91. Les fibres possèdent une biréfringence faible, ont un allongement positif et s'éteignent suivant leur longueur.

Ce minéral fond facilement au chalumeau (962°), en donnant un verre trouble de couleur verdâtre. Il se dissout facilement dans les acides sans donner de résidu.

Sa composition est la suivante :

SiO₂, 19,857; CaO, 38,476; MgO, 18,282; Fe²O₃, 2,303; Mn²O₄, 0,062; SO₃, 0,273; H²O, 5,895; F, 31,011.

Elle peut être représentée par la formule



Ce minéral a été trouvé dans un bloc de serpentine pesant quelques kilogrammes et extrait des mines de Luppiko, environs de Pitkäranta (Finlande), (P. ZEMLIATTSCHENSKI, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XLII, 1906, p. 209).

COORONGITE. — Variété d'élatérite trouvée dans la région de Coorong, sud de l'Australie. Elle forme des lames élastiques, molles, flexibles, de couleur noire, et ressemble à du caoutchouc. Elle contient 77,91 pour 100 de carbone, 11,92 d'hydrogène et 10,17 d'oxygène évalué par différence, ce qui correspond à peu près à la formule brute C¹⁰H¹⁸O (A.-C. CUMMING, *Proc. Royal. Soc. Victoria*, 1903, p. 134, et *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XLI, 1905, p. 407).

ERRATA.

Au n° d'avril 1907, page 108, avant-dernière ligne, au lieu de : $n_m = 1,5579$, lire : $n_m = 1,5588$.

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.



HENRI MOISSAN

1852 - 1907

Helwig Schutzenberger Paris

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN n° 7.

Compte rendu de la Séance du 22 Juin 1907.

PRÉSIDENTE DE M. A. LACROIX, *Vice-Président.*

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL DE L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE
EXTRAORDINAIRE DU 22 JUIN 1907.

La Société :

Vu le décès de son président, M. H. MOISSAN;

Après avoir entendu l'exposé fait par son trésorier, M. L. BOURGEOIS, du projet de vente des 297^{fr} de rente 3 % perpétuelle composant le fonds de réserve avec emploi en obligations de chemins de fer français, ainsi que la lecture de la délibération du Conseil à ce sujet, en date du 14 février 1907;

Ratifiant ladite délibération, la précisant et la complétant en quelques points,

Décide :

1° M. A. LACROIX, Membre de l'Institut, l'un de ses vice-présidents, est et demeure chargé des fonctions de président jusqu'à l'assemblée générale ordinaire de janvier 1908;

2° Est autorisée l'aliénation des quatre inscriptions de

rente 3 %, perpétuelle s'élevant en tout à cent soixante-dix francs de rente ;

Pour ces opérations, elle délègue comme son mandataire, en lui confiant les pouvoirs les plus étendus, son trésorier, M. L. BOURGEOIS, demeurant à Paris, 1, boulevard Henri-IV.

M. le PRÉSIDENT annonce deux présentations.

M. A. LACROIX signale l'existence d'un sulfate de plomb et de potassium, nouveau minéral trouvé dans les fumerolles du Vésuve.

Henri Moissan.

(1852-1907).

Par M. H. COPAUX.

Au mois de janvier dernier, la Société de Minéralogie, en hommage des services rendus par M. Moissan aux sciences minéralogiques, l'avait appelé à la présidence annuelle. Un mois après, M. Moissan, atteint subitement d'appendicite, devait être opéré sans retard et, le 22 février 1907, alors que personne ne doutait plus de sa guérison prochaine, nous avions à déplorer la perte de l'un des premiers expérimentateurs de notre époque.

La carrière, si brusquement interrompue, de M. Moissan s'est écoulée tout entière à Paris, où il était né en 1852.

Elève du Laboratoire Frémy, puis attaché au Muséum, au Laboratoire de Decaisne et Dehérain, c'est à l'École de Pharmacie qu'il accomplit, de 1879 à 1900, la majeure partie de ses travaux. Il y professa la Toxicologie pendant 15 ans et ne la quitta qu'en 1900, pour occuper à la Faculté des Sciences

la chaire de Chimie minérale, enseignement vraiment plus conforme à ses préoccupations et à son talent.

Le premier Mémoire de Moissan date de 1874; c'était une étude, faite en collaboration avec Dehérain, sur la respiration végétale. Poussé sans doute par une prédilection personnelle, il abandonnait bientôt cette première direction pour entrer dans la voie, bien délaissée alors, de la Chimie minérale. Quinze ans plus tard, la Chimie minérale était en pleine renaissance, et l'on peut dire que ce résultat était dû pour une large part à l'active contribution de Moissan, autant qu'à l'exemple encourageant de ses découvertes.

Bien des chapitres de cette œuvre considérable, qui compte plus de 250 publications, ont été consacrés à la synthèse minérale. Ce sont les seuls qui doivent nous occuper ici et nous donnerons de l'ensemble une idée suffisamment fidèle en y choisissant les trois œuvres suivantes : l'isolement du fluor, la reproduction artificielle du diamant et l'action des hautes températures sur les corps minéraux.

Après quelques travaux préliminaires sur les oxydes de fer et sur diverses combinaisons du chrome, Moissan avait établi d'un coup sa réputation en isolant le fluor en 1886. Depuis longtemps, l'existence du fluor, soupçonnée par Ampère dès le début du XIX^e siècle, n'était plus douteuse pour personne et Frémy, en 1850, avait été bien près d'isoler cet élément singulièrement actif, mais nul n'avait pu dégager le fluor de ses combinaisons par une réaction régulière et encore moins le recueillir.

Avec cette volonté méthodique et passionnée qui lui était propre, Moissan examine une à une les approches de son sujet. Il étudie d'abord les combinaisons, connues ou inconnues avant lui, du fluor avec les métalloïdes, phosphore, silicium, bore, arsenic; il fait réagir le platine sur les unes,

l'étincelle d'induction ou le courant sur les autres et, après deux ans d'efforts, n'obtient en somme d'autre indication favorable que celle-ci : le trifluorure d'arsenic, corps liquide à la température ordinaire, ne conduit pas l'électricité, mais il devient conducteur par addition d'un fluorure métallique et se dédouble alors en arsenic qui se dépose à la cathode et en un gaz qui est absorbé à l'anode. Ce gaz est vraisemblablement le fluor, qui se fixe sur le trifluorure d'arsenic et le convertit en pentafluorure.

Encouragé par cette observation, il prépare l'acide fluorhydrique anhydre, le liquéfie à -25° , le rend conducteur par addition de fluorhydrate de fluorure de potassium et, par électrolyse dans un tube de platine en U, il le dédouble en hydrogène et en fluor, qui cette fois n'est plus retenu par l'électrolyte et se dégage en nature.

Le fluor ainsi obtenu manifesta les propriétés extraordinairement énergiques auxquelles il fallait s'attendre. Il s'unit violemment à l'hydrogène, même à l'obscurité, et décompose l'eau; la plupart des métalloïdes, soufre, iode, carbone, silicium, s'enflamment à son contact et les combinaisons formées par cet admirable agent de synthèse avec les métalloïdes, les métaux ou les alcools, furent, pendant les cinq années qui suivirent sa découverte, l'unique objet des recherches de Moissan.

Il devait revenir à plusieurs reprises sur ce sujet favori. En ces dernières années, avec M. Dewar, il liquéfiait le fluor à -185° , le solidifiait à -250° . A ces basses températures, les affinités de l'élément s'affaiblissent à tel point qu'il n'attaque plus ni l'eau ni le mercure; mais l'affinité chimique n'est pas complètement anéantie, car le fluor solide et l'hydrogène liquide se combinent encore violemment l'un à l'autre, à -250° , c'est-à-dire à 20° du zéro absolu.

Séduit par l'énergie minéralisatrice du fluor, Moissan crut.

pouvoir résoudre par son intervention le problème de la reproduction du diamant. Il n'y parvint pas de cette manière. Les diverses variétés de carbone, soumises à l'action du fluor, lui donnèrent simplement des fluorures de carbone gazeux et ceux-ci, du carbone amorphe, par décomposition pyrogénée.

Reprenant alors la méthode qui lui avait si bien réussi une première fois, il étudie en détail les trois variétés de carbone : carbones amorphes, graphites, diamant. Il vérifie d'abord que le noir de fumée, soumis à l'action de la chaleur, se polymérise progressivement, en fonction de la température et du temps, et que la préparation du carbone amorphe pur est à peu près impossible, le carbone obtenu contenant toujours une fraction du corps simple auquel il était combiné primitivement.

Il fait ensuite l'analyse des graphites naturels, s'applique à les reproduire par transformation du carbone sous la seule action de la chaleur ou par dissolution dans les métaux fondus et, pour obtenir de hautes températures, réalise un modèle de four électrique, où la substance, isolée du circuit, peut être portée à 3500°, sans intervention de phénomènes électrolytiques.

Le diamant, le charbon de sucre, le charbon de bois, chauffés dans l'arc électrique, passent à l'état de graphite. De même, toute variété de carbone, mise en présence d'un métal en fusion, se dissout à haute température, puis se dépose lors du refroidissement, à l'état de graphite, mais d'un graphite différent du premier. Celui qu'on obtient par l'intermédiaire des métaux est foisonnant; l'autre ne l'est pas.

Traité par l'eau régale, puis chauffé au rouge, un graphite foisonnant se gonfle à la façon du sulfocyanure de mercure; le carbone amorphe et l'acide nitrique restant dans la substance réagissent l'un sur l'autre pour donner un brusque

dégagement gazeux d'acide carbonique et d'oxydes d'azote.

Puisque la nature nous offre ces deux variétés de graphites, les uns foisonnants, les autres non foisonnants, il nous est permis d'émettre avec Moissan une hypothèse géologique sur l'origine des premiers et de les considérer comme formés à haute température, au sein de masses de fer disparues dans la suite, sous l'influence des agents dissolvants.

Enfin, après une étude très soignée des nombreuses variétés de diamants naturels, de leurs aspects, de leurs impuretés, Moissan prit un parti entre les deux conceptions minéralogiques de l'origine du diamant. Rejetant l'hypothèse de la formation par voie humide, il estime, avec Daubrée, que le diamant est d'origine éruptive : sa coexistence avec la péridotite, l'abondance du fer dans les cendres, et surtout la présence du diamant dans le fer de Cañon-Diablo, reconnue par Ch. Friedel et par lui-même, sont à son avis des preuves décisives que le carbone a cristallisé à haute température et sous pression.

Vraie ou fausse, comme il le dit lui-même, cette opinion l'amène à réaliser l'expérience suivante : si l'on sature de carbone 200^g de fer chauffé au four électrique et qu'on immerge le lingot dans l'eau, la fonte en se solidifiant augmentera de volume, mais la surface, en se consolidant la première, s'opposera à l'expansion des parties centrales, où le carbone se déposera par refroidissement sous une pression considérable. En reproduisant plusieurs fois cette expérience assez chanceuse et en épuisant les lingots par des réactifs convenables, on finit par isoler quelques milligrammes d'un résidu, tantôt noir, tantôt transparent, qui raye le rubis, possède une densité de 3,5 et brûle dans l'oxygène, en laissant une quantité de cendres quelquefois nulle, quelquefois très faible.

Ces longs et ingénieux travaux n'avaient certainement pas

donné un résultat aussi probant que l'auraient mérité tant de difficultés vaincues; ils avaient du moins permis de mettre à l'épreuve le four électrique, nouvel instrument de recherches, dont Moissan devait, dans la suite, tirer un merveilleux parti.

A la température du four électrique, les composés minéraux les plus stables sont volatilisés ou dissociés, les oxydes les plus fixes se réduisent, les métalloïdes et les métaux les plus réfractaires se volatilisent; il ne subsiste plus que des composés nouveaux, cristallisés et doués d'une stabilité exceptionnelle, les borures, les siliciures et surtout les carbures.

Ainsi, lorsqu'on traite les oxydes par le carbone au four électrique, la réduction, arrêtée en temps voulu, donne à l'état fondu les métaux les plus réfractaires, obtenus jusque-là sous une forme pulvérulente et impure : chrome, molybdène, tungstène, uranium, vanadium, titane, silicium.

Si l'on augmente convenablement la proportion de carbone, on obtient à l'état cristallisé les carbures métalliques, composés à peu près inconnus auparavant et qui se divisent en deux catégories, suivant leur action sur l'eau. Les uns sont inertes, comme les carbures de chrome, de molybdène, de tungstène, mais d'autres décomposent l'eau immédiatement, en donnant un hydroxyde métallique et un gaz constitué : par de l'acétylène pur, pour les alcalino-terreux; par du méthane pur, pour l'aluminium; ou par des mélanges de ces gaz avec de l'éthylène et des hydrocarbures liquides et solides, pour le cérium, l'uranium, etc.

La production de ces hydrocarbures est intéressante, au point de vue géologique; elle permet d'expliquer la formation des pétroles ou, du moins, de certains pétroles, par réaction de l'eau sur les carbures métalliques terrestres, conformément à l'hypothèse émise autrefois par Berthelot.

dégagement gazeux d'acide carbonique et d'oxydes d'azote.

Puisque la nature nous offre ces deux variétés de graphites, les uns foisonnants, les autres non foisonnants, il nous est permis d'émettre avec Moissan une hypothèse géologique sur l'origine des premiers et de les considérer comme formés à haute température, au sein de masses de fer disparues dans la suite, sous l'influence des agents dissolvants.

Enfin, après une étude très soignée des nombreuses variétés de diamants naturels, de leurs aspects, de leurs impuretés, Moissan prit un parti entre les deux conceptions minéralogiques de l'origine du diamant. Rejetant l'hypothèse de la formation par voie humide, il estime, avec Daubrée, que le diamant est d'origine éruptive : sa coexistence avec la péridotite, l'abondance du fer dans les cendres, et surtout la présence du diamant dans le fer de Cañon-Diablo, reconnue par Ch. Friedel et par lui-même, sont à son avis des preuves décisives que le carbone a cristallisé à haute température et sous pression.

Vraie ou fausse, comme il le dit lui-même, cette opinion l'amène à réaliser l'expérience suivante : si l'on sature de carbone 200^g de fer chauffé au four électrique et qu'on immerge le lingot dans l'eau, la fonte en se solidifiant augmentera de volume, mais la surface, en se consolidant la première, s'opposera à l'expansion des parties centrales, où le carbone se déposera par refroidissement sous une pression considérable. En reproduisant plusieurs fois cette expérience assez chanceuse et en épuisant les lingots par des réactifs convenables, on finit par isoler quelques milligrammes d'un résidu, tantôt noir, tantôt transparent, qui raye le rubis, possède une densité de 3,5 et brûle dans l'oxygène, en laissant une quantité de cendres quelquefois nulle, quelquefois très faible.

Ces longs et ingénieux travaux n'avaient certainement pas

donné un résultat aussi probant que l'auraient mérité tant de difficultés vaincues; ils avaient du moins permis de mettre à l'épreuve le four électrique, nouvel instrument de recherches, dont Moissan devait, dans la suite, tirer un merveilleux parti.

A la température du four électrique, les composés minéraux les plus stables sont volatilisés ou dissociés, les oxydes les plus fixes se réduisent, les métalloïdes et les métaux les plus réfractaires se volatilisent; il ne subsiste plus que des composés nouveaux, cristallisés et doués d'une stabilité exceptionnelle, les borures, les siliciures et surtout les carbures.

Ainsi, lorsqu'on traite les oxydes par le carbone au four électrique, la réduction, arrêtée en temps voulu, donne à l'état fondu les métaux les plus réfractaires, obtenus jusque-là sous une forme pulvérulente et impure : chrome, molybdène, tungstène, uranium, vanadium, titane, silicium.

Si l'on augmente convenablement la proportion de carbone, on obtient à l'état cristallisé les carbures métalliques, composés à peu près inconnus auparavant et qui se divisent en deux catégories, suivant leur action sur l'eau. Les uns sont inertes, comme les carbures de chrome, de molybdène, de tungstène, mais d'autres décomposent l'eau immédiatement, en donnant un hydroxyde métallique et un gaz constitué : par de l'acétylène pur, pour les alcalino-terreux; par du méthane pur, pour l'aluminium; ou par des mélanges de ces gaz avec de l'éthylène et des hydrocarbures liquides et solides, pour le cérium, l'uranium, etc.

La production de ces hydrocarbures est intéressante, au point de vue géologique; elle permet d'expliquer la formation des pétroles ou, du moins, de certains pétroles, par réaction de l'eau sur les carbures métalliques terrestres, conformément à l'hypothèse émise autrefois par Berthelot.

De même que les carbures, les siliciures s'obtiennent au four électrique sans difficulté, mais leur aspect est tout à fait métallique, tandis que la plupart des carbures sont transparents, et leur action sur l'eau n'est nullement comparable à celle des carbures. Par exemple, le siliciure de calcium décompose l'eau très lentement, en donnant de l'hydrogène et non pas de l'hydrogène silicié; pour obtenir l'hydrogène silicié Si^2H^6 , que Moissan isola le premier, il faut faire agir l'acide chlorhydrique sur le siliciure de magnésium.

Quant aux borures, combinaisons cristallisées comme les siliciures et les carbures, mais plus stables encore, ils se présentent à l'état de poudres cristallines, métalliques, rayant le rubis, et sans action sur l'eau froide.

En ces dernières années, Moissan, passant à la contrepartie de ses expériences précédentes, avait étudié avec le même succès les réactions à basse température. Nous n'en dirons qu'un mot. Il avait en particulier déterminé la composition et les propriétés, extrêmement intéressantes, d'une classe de composés, dont le nom seul était connu, les hydrures. Il avait étudié la préparation et les réactions des métaux ammoniums, combinaisons dissociables des métaux légers avec l'ammoniac. L'une de ces réactions, très spéciale en apparence, celle de l'acétylène, l'avait conduit à un résultat qui nous paraît trop élégant pour être passé sous silence.

Les ammoniums, soumis à l'action de l'acétylène à basse température, donnent des acétylures acétyléniques, substances blanches, cristallines, répondant à la formule $\text{C}^2\text{M}^2.\text{C}^2\text{H}^2$. Chauffés dans le vide à 150° , les acétylures se dissocient en acétylène et carbure métallique, de telle sorte que le carbure de calcium, type de la chimie des

hautes températures, peut être obtenu à 150° si, par un détour, on combine à basse température le carbone et le calcium dépolymérisés.

Une telle continuité d'efforts et de succès avait acquis au Maître que nous regrettons une réputation et une influence toujours grandissantes. Membre de l'Académie des Sciences depuis 1891, lauréat du Prix Nobel en 1906, il avait achevé depuis peu son grand *Traité de Chimie minérale*, inventaire de la Science qu'il affectionnait, lorsque la mort vint l'enlever en pleine activité, à l'âge de 54 ans.

Dans son enseignement, comme dans ses travaux, Moissan professait une grande méfiance à l'égard des spéculations *a priori*, et, dans notre époque fertile en hypothèses scientifiques, on le lui a souvent reproché. Sans prendre exemple sur son antipathie, on doit dire qu'elle était explicable chez lui, tant par la nature des sujets qu'il aimait à traiter que par les dons exceptionnels d'observation et d'intuition qui suppléaient en lui à l'esprit théorique. Au reste, à quoi bon chercher à pénétrer un talent aussi personnel que le sien ? Il estimait que la meilleure manière de servir la Science est de lui apporter des faits nouveaux, palpables, nombreux ; il a si bien rempli ce programme que la Science a donné à son nom un éclat qui ne s'éteindra pas.

Sur les silicotungstates d'indium ;

Par M. G. WYROUBOFF.

On sait qu'on a longtemps hésité sur l'atomicité de l'indium qui a été considéré d'abord comme diatomique et dont on n'a

reconnu la triatomicité que le jour où M. Rössler prépara en 1873 l'alun ammoniacal. On ne pouvait en effet plus hésiter : l'oxyde d'indium était un sesquioxyde, mais un sesquioxyde très particulier et fort différent de tous les sesquioxydes connus. C'est ainsi qu'il est précipitable par l'hydrogène sulfuré, même en liqueur acide, à l'état de sesquisulfure, et qu'il est précipitable par les alcalis, même en présence d'un excès d'acide tartrique ou d'acides analogues.

J'ai pensé qu'il serait intéressant d'examiner la façon dont cet oxyde se comportait à l'égard de l'acide silicotungstique, ce réactif aussi délicat que fidèle de l'atomicité des éléments métalliques. Cet examen a confirmé d'une façon très nette la conclusion qui ressortait de tous les faits connus jusqu'ici : c'est bien un sesquioxyde à allure très particulière et ne ressemblant à aucun autre.

Je rappelle en quelques mots les propriétés des silicotungstates de sesquioxydes. Si l'on rapporte leur hydratation à une molécule d'acide, de manière à pouvoir les comparer aux sels des métaux mono et diatomiques, leur hydrate caractéristique est cubique, optiquement isotrope, à $31\text{H}^2\text{O}$; un semblable hydrate n'existe que dans l'acide silicotungstique, mais la forme en est quadratique. Cet hydrate se retrouve pour Fe^3O^3 , Al^3O^3 , Cr^3O^3 , Ga^3O^3 , Gl^3O^3 ; il n'y a qu'une exception à cette règle, c'est l'oxyde de bismuth (¹), mais ce n'est plus là, à proprement parler, un oxyde métallique. À côté de cet hydrate fondamental, il en existe deux autres : rhomboédrique à $29\text{H}^2\text{O}$ et triclinique à $20\text{H}^2\text{O}$; le premier manque pour Fe^3O^3 et Bi^3O^3 , le second pour Gl^3O^3 qui, en revanche, possède un hydrate quasi-quadratique à $15\text{H}^2\text{O}$. *Aucun des sesquioxydes ne donne de sel acide.*

Ce point établi, j'arrive aux résultats que j'ai obtenus

(¹) *Bull. Soc. fr. Min.*, t. XXVIII, 1905, p. 201.

avec l'oxyde d'indium. Le métal a été dissous dans l'acide nitrique et additionné de la quantité théorique d'acide silicotungstique pur. La solution évaporée au bain-marie pour chasser complètement l'acide nitrique est reprise par l'eau et la solution neutre évaporée sur l'acide sulfurique vers 15°. On obtient ainsi de gros cristaux très limpides et très efflorescents; ce sont des octaèdres réguliers sans autre modification et absolument isotropes. L'analyse m'a donné :

(1) $3[12\text{TuO}^3, \text{SiO}^2], 2\text{In}^2\text{O}^3, 93\text{H}^2\text{O}^{(1)} :$

		Trouvé.
$3[12\text{TuO}^3, \text{SiO}^2] \dots$	79,28	79,10
$2\text{In}^2\text{O}^3 \dots \dots \dots$	5,17	5,00
$23\text{H}^2\text{O} \dots \dots \dots$	3,85	4,00
$70\text{Aq} \dots \dots \dots$	11,70	11,75
	<u>100,00</u>	<u>99,85</u>

Si l'on ajoute à la solution neutre un peu d'acide nitrique et qu'on évapore à des températures variant de 25° à 40°, on obtient des cristaux généralement mal formés, à faces écaillées et que j'ai eu beaucoup de peine à mesurer. C'est un hydrate inférieur qui n'a pas son analogue pour aucun des autres sesquioxides et dont la formule est :

(2) $3[12\text{TuO}^3, \text{SiO}^2], 2\text{In}^2\text{O}^3, 63\text{H}^2\text{O} :$

		Trouvé.
$3[12\text{TuO}^3, \text{SiO}^2] \dots$	83,50	83,31
$2\text{In}^2\text{O}^3 \dots \dots \dots$	5,40	5,56
$25\text{H}^2\text{O} \dots \dots \dots$	4,41	4,51
$38\text{Aq} \dots \dots \dots$	6,69	6,65
	<u>100,00</u>	<u>100,03</u>

(1) Je note comme dans mes Mémoires précédents par Aq l'eau qui s'élimine à 105°.

Les cristaux clinorhombiques, très troubles, présentent les faces $p(001)$, $a^1(100)$, $m(110)$ et $a^1(\bar{1}01)$.

$$0,9552 : 1 : 0,6335 \quad p^1 h^1 = 96^\circ 32'.$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$p^1 h^1 (001-100)$	—	* 96.32
$mm (1\bar{1}0-110)$	93	—
$mh^1 (110-100)$	—	* 136.30
$pm (001-110)$	94.44	95
$a^1 p (\bar{1}01-001)$	—	* 143.34
$a^1 m (\bar{1}01-\bar{1}10)$	111.12	111.14

Le plan des axes est perpendiculaire au plan de symétrie, et les axes, très écartés.

Sur les propriétés optiques des mélanges isomorphes;

(Réponse à M. G. Wyruboff)

Par M. Georges Woulff.

Dans le n° 4, 1907, du *Bulletin*, M. G. Wyruboff a publié une critique détaillée de mon Mémoire paru dans *Zeitschrift für Krystallographie*, etc., t. XLII, p. 558-586.

Je suis très heureux d'avoir l'occasion, en répondant à cette critique, d'éclaircir certains points de mon travail, dont l'exactitude a été mise en doute par M. Wyruboff. Je vais citer textuellement les critiques formulées par mon honoré collègue pour y répondre au fur et à mesure.

1. « Mais ce ne sont pas ces recherches que M. Woulff a entreprises pour contrôler l'existence d'une fonction linéaire. Il a choisi le plus mauvais de tous les exemples qu'on puisse imaginer, il a pris le couple $\text{SO}^+\text{K}^+ + \text{SO}^+(\text{NH}^+)^2$, que j'avais moi-même choisi jadis, bien à tort, et le couple $\text{SO}^+(\text{NH}^+)^2 + \text{SO}^+\text{Rb}^+$.

» Dans ces trois sels, les différences entre le plus grand et le plus petit indice sont :

Sel de potasse	0,0040
Sel d'ammoniaque	0,0012
Sel de rubidium	0,0011

» On voit immédiatement de quels soins extrêmes on doit s'entourer pour de semblables mesures d'indice et quelle précision elles doivent avoir pour pouvoir aboutir à une loi quelconque. »

A mon avis, il faut s'entourer pour la critique aussi bien que pour les recherches scientifiques de soins extrêmes et ne pas se tromper de *dix fois*, comme le fait M. G. Wyruboff, en donnant pour le sel d'ammoniaque le chiffre 0,0012 au lieu de 0,012!

2. « Or, les chiffres que nous apporte M. G. Woulff sont, non seulement, moins exacts que les chiffres qu'on trouve dans les travaux de Dufet et de M. Lavenir, mais ne méritent eux-mêmes aucune confiance, comme il est facile de le montrer. Tous ces chiffres sont le résultat de mesures indirectes obtenues par des procédés compliqués, des jeux de moyennes entre nombres fournis par des méthodes de valeur très inégale et par conséquent incomparables.

» M. G. Woulff mesure, en effet, non les indices qui peuvent être obtenus par une seule lecture au réflectomètre, mais leurs différences au moyen du compensateur de Babinet et de la vis micrométrique du microscope. Et ces différences

elles-mêmes, il les obtient quelquefois par un calcul détourné. »

Dans mon Mémoire (*loc. cit.*, p. 562), je cite les raisons qui m'ont conduit aux mesures des biréfringences et non des indices. La seule méthode directe pour obtenir les indices, c'est la méthode du prisme et non du réflectomètre, quelque facile que soit la « seule lecture » qu'on y fait, et l'on sait bien comment il est difficile de pousser l'exactitude de détermination des indices des substances cristallisées au delà de la quatrième décimale, et cela tient, non à la difficulté des lectures au goniomètre ou au réflectomètre, mais au polissage des prismes et des plaques. Les biréfringences se laissent mesurer sur les plaques très petites, insuffisantes pour les mesures précises au réflectomètre, avec une précision à quelques centièmes près.

Il faut que je montre maintenant quels sont ces *calculs détournés* dont je me sers selon M. G. Wyruboff.

3. « Pour le sulfate de potasse il obtient $\gamma - \alpha = 0,00407$; il calcule $\gamma - \beta$ d'après l'angle trouvé par Tutton (qui avait trouvé $\gamma - \alpha = 0,038$) et obtient $0,00282$; enfin, il calcule $\beta - \alpha = 0,00126$ par la soustraction de $(\gamma - \alpha) - (\gamma - \beta)$. Il n'a donc *qu'une* donnée sans aucun contrôle possible. »

Pour répondre à cette objection de M. G. Wyruboff il faut d'abord convenir de ne pas appeler la théorie des erreurs *le petit jeu des moyennes*, comme le fait M. G. Wyruboff. La biréfringence de SO_4K_2 étant petite, il est, par conséquent, avantageux de mesurer au compensateur sa valeur maximum Δ_a qui comporte $0,00406 \pm \varepsilon$, où ε est une erreur de quelques unités de la cinquième décimale.

En mesurant directement la biréfringence moyenne Δ_b , on aurait à peu près la même valeur de ε . Mais si l'on prend $\Delta_b = \Delta_a \cos^2 V = 0,00406 \cos^2 V \pm \varepsilon \cos^2 V$ on diminue

considérablement la valeur de ϵ , et pour cela la valeur de V obtenue par M. Tutton est même beaucoup trop précise. De même, on a tout avantage de calculer $\Delta_c = \Delta_a \cos^2 V$, mais comme $\sin^2 V = 1 - \cos^2 V$, on a $\Delta_c = \Delta_a - \Delta_b$, qu'on peut déduire directement de la théorie de la biréfringence. Pourquoi fallait-il mesurer plusieurs quantités, quand je pouvais me borner à en mesurer une seule?

4. « Pour le sulfate d'ammoniaque, il prend les trois différences des moyennes de nombres obtenus par divers auteurs d'habileté très différente, par des procédés divers et variant entre eux de près de 10 pour 100. Le plus curieux est que, malgré ces origines diverses et ces énormes discordances, ces moyennes lui permettent de calculer un angle des axes qui ne diffère de l'angle observé que de 10', alors que les chiffres isolés des différents observateurs donnent des angles qui varient de 2°. Ce sont là les surprises inattendues que réserve parfois le petit jeu des moyennes. »

Les raisons qui m'ont conduit à respecter toutes les mesures qui m'étaient connues pour obtenir la biréfringence du sulfate d'ammoniaque sont exposées dans mon Mémoire (p. 572-573) et je ne les reproduirai pas ici.

Quant au *petit jeu des moyennes*, je me bornerai à indiquer que les erreurs moyennes des biréfringences Δ_a , Δ_b et Δ_c pour le sulfate d'ammoniaque, sont respectivement de 2 pour 100, de 0,7 pour 100 et de 1 pour 100. Je n'ai pas donné ces chiffres dans mon Mémoire, mais il est très facile de les calculer d'après les données qui se trouvent dans le texte. Ces erreurs garantissent, à mon avis, l'exactitude des conclusions que j'en ai tirées.

5. « Pour le sulfate de rubidium, M. G. Woulff a mesuré, par un procédé très compliqué, la différence $\beta - \alpha = 0,000152$

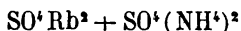
et au compensateur $\gamma - \alpha = 0,001105$; la troisième différence, $\gamma - \beta = 0,000953$ a été obtenue, par soustraction. Mais tous ces chiffres n'ont aucune espèce de signification, car ils ne comportent aucun contrôle. M. Tutton a montré, en effet, que l'angle des axes optiques était essentiellement variable dans le sulfate de rubidium ($2E = 70^\circ - 44^\circ$) et, par conséquent, aussi la différence des indices. Un pareil sel semble donc devoir être systématiquement écarté; c'est au contraire celui dont le mélange avec le sulfate d'ammoniaque sert à M. G. Woulff de meilleur argument contre l'existence de la fonction linéaire. »

L'appréhension de M. G. Wyruboff peut être considérée comme vaine, même s'il s'agissait des mesures des angles des axes optiques dans les mélanges de sels SO^+Rb^+ et $SO^+(NH^+)^+$, malgré la variation énorme de la valeur de cet angle dans le SO^+Rb^+ . Cela tient à ce que la biréfringence de SO^+Rb^+ est excessivement petite, et les mélanges des deux sels sont, en quelque sorte, comme le sel d'ammoniaque dilué dans une substance à peu près isotrope. Un coup d'œil sur la figure 2, page 584 de mon Mémoire, suffit à le prouver.

Si l'on opère à une température constante, ce qui a été le cas dans mes recherches, on est tout à fait hors de l'influence de cette variabilité de l'angle des axes optiques dans le sulfate de rubidium. L'énorme différence dans les valeurs de la biréfringence Δ_b et Δ_c des deux sels, l'énorme différence de leurs densités et la faculté de ces sels de donner les cristaux mélangés d'une homogénéité parfaite, m'ont paru être des circonstances très favorables pour la vérification de la loi des constantes optiques des mélanges isomorphes.

6. « Avec de semblables données, si habile calculateur que l'on soit, on s'expose facilement à de graves mécomptes. M. G. Woulff y ajoute encore, comme à plaisir, de nouvelles

causes d'erreur. Il calcule la composition chimique des mélanges, non par la calcination qui élimine le sulfate d'ammoniaque et donne aussi exactement que possible la teneur en sel de potassium ou de rubidium, mais d'après la densité dont il emprunte la valeur pour les sels purs aux travaux de Retgers et de Tutton et qu'il détermine lui-même pour les mélanges, parfois comme pour les mélanges



qui demandaient la plus grande précision, avec deux décimales seulement. »

Admettons que les mesures de M. Retgers et de M. Tutton ne sont exactes qu'à une unité de la seconde décimale, ce qui est une exagération énorme des erreurs commises par ces observateurs. On a pour la densité de $\text{SO}^+(\text{NH}_4)^+$ et SO^+Rb^+ les valeurs 1,77 et 3,61. La différence en est $3,61 - 1,77 = 1,84$. Or, en déterminant la densité même à une unité de la deuxième décimale, on a la composition chimique des mélanges à quelques dixièmes de pour cent près. D'ailleurs j'ai toujours vérifié la méthode de la détermination de la composition chimique d'après la densité par le dosage (*Z. f. K.*, t. XXXVI, p. 8 et t. XLII, p. 566-567). Quant aux bases théoriques de la méthode des densités, j'espère que M. Wyruboff ne les contestera pas, puisque toute sa critique est basée sur l'admission de la généralité des fonctions linéaires pour toutes les constantes des mélanges isomorphes.

7. « Quoi d'étonnant après cela qu'il (M. G. Woulff) arrive à deux conclusions totalement inadmissibles ?

» En premier lieu, il trouve mes anciens chiffres pour l'angle des axes optiques des mélanges $\text{SO}^+\text{K}^+ + \text{SO}^+(\text{NH}_4)^+$ parfaitement exacts, alors qu'ils ne pouvaient être, dans les conditions où j'ai opéré jadis, que grossièrement approximatifs. »

M. Wyruboff confond ici deux choses essentiellement différentes : l'exactitude de ces mesures et la conclusion qui en peut être tirée. La valeur de l'angle des axes optiques dans les mélanges de $\text{SO}^+\text{K}^2 + \text{SO}^+(\text{NH}^+)^2$ varie avec une telle rapidité avec la composition chimique des mélanges qu'une erreur de 1° ou 2° doit être considérée comme assez petite. Les mesures de M. G. Wyruboff peuvent ne pas avoir la précision correspondant à la détermination de l'angle des axes optiques, qui se laisse mesurer avec la précision de quelques minutes, mais *la marche* de la courbe qui représente ces angles en fonction de la composition peut bien suffire pour en tirer les conclusions définies. En plus, j'ai vérifié l'allure de cette courbe (et non les mesures de l'angle des axes optiques, faites par M. G. Wyruboff) par l'allure des valeurs de la biréfringence (p. 578).

8. « En second lieu les nombres qu'il obtient aboutissent à ce résultat que les fonctions qui représentent les variations de $\gamma - \alpha$, $\beta - \alpha$ et $\gamma - \beta$ sont différentes et qu'elles ne sont même pas des fonctions continues puisqu'elles sont représentées par des lignes quelconques en zigzag. »

C'est peut-être l'endroit le plus étonnant de la critique de M. Wyruboff. On sait bien que les observations aboutissent toujours à la détermination des points isolés d'une courbe; et ce sont deux choses essentiellement différentes de trouver la courbe qui relie tous ces points ou de vérifier si ces points sont situés sur la courbe donnée. On peut nier avec une grande certitude la dernière question et n'avoir aucune réponse pour la première. Dans ce cas les points obtenus par l'observation seront toujours représentés par des lignes quelconques en zigzag. C'est une chose tellement élémentaire, que je me demande si j'ai bien compris l'objection que me fait M. Wyruboff.

Quant aux recherches de M. Lavenir, que j'estime d'ailleurs beaucoup, j'ai apprécié leur portée dans mon premier Mémoire (*Z. f. K.*, t. XXXVI, p. 3-4). Mais si la loi de la ligne droite n'est pour les constantes optiques des mélanges isomorphes qu'une loi approximative, cette approximation peut être par hasard très grande pour les deux sels de Seignette étudiés par M. Lavenir, qui sont d'ailleurs très voisins l'un de l'autre dans tout l'ensemble de leurs constantes, et au contraire elle peut être très petite pour les sels dont les constantes diffèrent beaucoup comme dans le cas des sulfates des métaux alcalins. A mon avis, on est beaucoup plus satisfait par l'ensemble des faits actuellement connus sur les propriétés optiques des mélanges isomorphes en rejetant la loi de la stricte proportionnalité: on trouve partout, dans cet ensemble, l'allure des différences entre les nombres observés et les nombres calculés d'après la loi de la proportionnalité, qui indique plutôt que la courbe expérimentale ne coïncide pas, et cela *d'une façon systématique*, avec la droite théorique.

**Quelques mots à propos des observations
de M. G. Woulff;**

Par M. G. WYROUBOFF.

Je n'ai que peu de chose à dire sur les observations qu'on vient de lire, car elles ne répondent en aucune façon aux critiques que j'avais adressées au travail de M. Woulff.

Ces critiques se résument en ces deux propositions :

1. Pour contester la loi linéaire des mélanges isomorphes établie par des mesures optiques très précises, il faut apporter des mesures plus précises encore.

2. Les mesures de M. Woulff sont incomparablement moins précises que celles qui ont été faites par Dufet et par Lavenir. Ces deux propositions restent intactes après avoir essuyé le feu de M. Woulff.

Personne de ceux qui ont manié les appareils optiques et mesuré avec soin les constantes des corps cristallisés ne voudra admettre que la méthode du réflectomètre est inférieure à la méthode du prisme, et cette dernière inférieure à la mesure au compensateur accompagnée d'une mesure d'épaisseur au microscope.

Personne n'acceptera non plus cette affirmation qu'on peut obtenir un résultat exact en noyant de bonnes mesures dans un grand nombre de mesures mauvaises, même en se servant des moindres carrés.

Personne, enfin, ne souscrira à cette opinion de M. Woulff qu'une ligne qui tantôt monte, tantôt descend sans aucune régularité comme celle qui représente ses expériences soit une fonction continue.

Le seul point sur lequel M. Woulff ait pleinement raison, c'est que la biréfringence maximum du sulfate d'ammoniaque est 0,01 et non 0,001 comme je l'avais écrit. Est-ce une faute d'impression ou un *lapsus calami* de ma part? Je ne sais, car je n'ai pas conservé mon manuscrit; mais cette erreur ne diminue en rien la portée de mon observation. Même multipliée par 10, la biréfringence du sel reste encore beaucoup trop faible pour pouvoir être employée dans des recherches de cet ordre.

Je maintiens donc mes conclusions dans leur intégrité, et je ne pense pas que les cristallographes qui ont manié cette matière se contentent facilement des explications de M. Woulff.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN N° 8.

Compte rendu de la Séance du 14 Novembre 1907.

PRÉSIDENT DE M. A. LACROIX, *Vice-Président.*

M. le PRÉSIDENT proclame membres de la Société :

M^{lle} ÉMANUEL, rue Cambon. Paris.

M. CHAUTARD, 76, boulevard Saint-Michel, Paris.

M. le PRÉSIDENT annonce une présentation et fait part de la mort du D^r R. KLEIN, Professeur à l'Université de Berlin et membre de notre Société depuis son origine.

M. H. COPAUX présente des cristaux de silicomolybdate d'argent et de potassium, dont il décrit les propriétés.

M. A. LACROIX présente une série de beaux cristaux de tourmaline lithique de Madagascar, montrant d'intéressantes anomalies optiques sur lesquelles une Note sera donnée ultérieurement.

M. G. WYROUBOFF donne les résultats de ses recherches sur les formes du bichromate de rubidium.

**Étude chimique et cristallographique
d'un silicomolybdate de potassium et d'argent ;**

Par M. H. COPAUX.

Les propriétés des silicomolybdates métalliques présentent des particularités qu'on ne rencontre pas ou qui s'aperçoivent plus difficilement parmi les sels moins complexes.

Ainsi, j'ai montré que, par une exception remarquable, les cristaux du sel de potassium, doués de pouvoir rotatoire, sont tous dextrogyres et, dans un autre ordre de phénomènes, que l'acide silicomolybdique peut cristalliser simultanément avec ses sels de lithium et de baryum, contrairement à la règle admise en isomorphisme (¹).

Le silicomolybdate de potassium et d'argent, que j'examine ici, présente une anomalie d'un autre genre.

Lorsqu'on évapore un mélange de silicomolybdate acide de potassium et de nitrate d'argent en solution aqueuse, on voit se former, entre autres corps cristallisés, un sel rouge, dont la couleur est toute différente de la couleur jaune habituelle aux silicomolybdates.

C'est le silicomolybdate double de potassium et d'argent :



J'avais supposé un instant que ce sel constituait un silico-

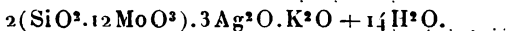
(¹) H. COPAUX, *Ann. de Ch. et de Phys.*, 8^e série, t. VII, 1906, p. 118 ; *Bull. Soc. Minéral.*, t. XXIX, 1906, p. 77.

molybdate isomère ou dans lequel le rapport moléculaire de SiO^2 à MoO^3 était différent de $\frac{1}{12}$.

On sait, en effet, que les modifications de couleur sont parfois l'indice d'un changement de constitution : ainsi, les transformations isomériques des sels de chrome verts et violets, celles des pseudo-acides organiques sont révélées par des changements de couleur. Dans le cas présent, l'hypothèse d'une modification chimique était d'autant plus admissible qu'il existe plusieurs variétés parmi les silicotungstates, sels voisins des silicomolybdates, et, d'autre part, que l'isomérisation de certains corps organiques s'accomplit par leur passage à l'état de sels d'argent.

Cependant, l'étude qui va suivre montre que le sel en question ne diffère point des silicomolybdates ordinaires par sa nature chimique et que sa coloration particulière n'est qu'un effet de sa structure cristalline.

Préparation de l'hydrate à $14\text{H}^2\text{O}$.



On dissout, dans 180^{cm^3} d'eau, 20^{g} de silicomolybdate de potassium, 15^{g} d'acide silicomolybdique et $5^{\text{g}},5$ de nitrate d'argent cristallisé. Après quelques heures d'abandon, il se dépose un précipité blanc, volumineux, mais très léger. On l'enlève par filtration, et les eaux mères, évaporées vers 18° à 20° , sur l'acide sulfurique, à pression ambiante, déposent peu à peu des cristaux rouges, à faces brillantes, mais souvent cannelées, donnant des images assez médiocres.

Ces cristaux avaient été obtenus difficilement et en petite quantité par M. Asch (¹), qui n'avait pu établir leur composition.

(¹) Asch, *Zeit. anorg. Ch.*, t. XXVIII, 1901, p. 273.

Leur teinte ressemble beaucoup à celle du bichromate de potassium ou de la wulfénite, molybdate de plomb naturel, qui (je le rappelle en passant) se présente sous deux variétés, l'une jaune ambrée, l'autre rouge. Si l'on modifie la proportion de sel de potassium dans le mélange initial, la composition des cristaux obtenus reste assez constante pour qu'il soit difficile de les considérer comme un mélange isomorphe; c'est ce qui résulte des nombres suivants :

Composition du mélange initial.	I.	II.	III.	
Sel de potassium.....	12	15	20	
Acide silicomolybdique..	15	15	15	
Nitrate d'argent.....	5,5	5,5	5,5	
Eau.....	180	180	180	

	Trouvé.			Théorie.
SiO ²	2,54	2,51	2,76	2,60
MoO ³	74,71	75,15	75,12	74,83
Ag ² O.....	14,74	14,58	13,30	15,07
K ² O.....	2,16	2,41	3,20	2,04
H ² O.....	5,60	5,58	5,45	5,46

Ces cristaux sont inaltérables à l'air; leur poussière est jaune. Quelquefois, ils présentent, au sortir de l'eau mère, une teinte orangée et non pas rouge, mais, au bout de quelques heures, ils reprennent leur teinte rouge normale, sans changement apparent de forme ou de limpidité.

Mis au contact de l'eau, ils se dissolvent avec décomposition partielle, en donnant une solution jaune et un précipité jaune amorphe, comme font en général les silicomolybdates neutres des métaux lourds. Par contre, ils se redissolvent intégralement dans leurs eaux mères diluées.

Forme cristalline. — Cristaux tricliniques, généralement

aplatis suivant g^1 et souvent maclés suivant ce même plan g^1 comme l'indique la figure 2. La face h^1 est toujours rugueuse.

Fig. 1.

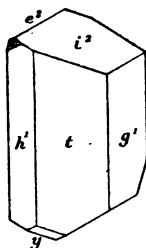
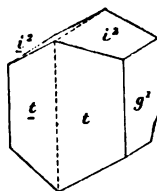


Fig. 2.



Formes observées : $g^1(010)$, $h^1(100)$, $t(110)$, $i^2(012)$, $e^2(0\bar{1}2)$, $x(2\bar{1}2)$, $y(\bar{2}12)$.

$$1,0073 : 1 : 0,9840.$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 100.26'; & gh &= 100.33'; \\ \beta &= 92.30; & pg &= 92.55; \\ \gamma &= 88.8; & ph &= 87.37. \end{aligned}$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$gt(010)-(110)$	°	*50°
$ge(010)-(01\bar{2})$	»	*61.10
$et(01\bar{2})-(110)$	»	*73.15
$gy(010)-(\bar{2}1\bar{2})$	»	*62.42
$ey(01\bar{2})-(\bar{2}1\bar{2})$	»	*38.3
$ti(110)-(012)$	73.20	73.35
$gh(010)-(\bar{1}00)$	79.27	79.35
$ih(012)-(100)$	92.34	93
$xt(2\bar{1}2)-(110)$	47.36	47.12
$xe(\bar{2}1\bar{2})-(01\bar{2})$	43.53	44.10
$xg(21\bar{2})-(010)$	75	75.15
$gi(010)-(012)$	65.45	65.30

Hydrate à 22H²O.

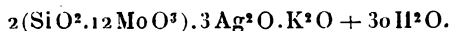


Dans la même préparation, il se dépose quelquefois un sel de même formule essentielle que le précédent, mais à 22^{mol} d'eau. Il se présente en croûtes cristallines jaunes, non efflorescentes, dont je n'ai pas cherché à déterminer la forme.

	Trouvé.	Théorie.
SiO ²	2,85	2,52
MoO ³	71,85 (par diff.)	72,57
Ag ² O.....	14,61	14,61
K ² O.....	2,21	1,99
H ² O.....	8,48	8,31

Ce sel est probablement celui que M. Asch a obtenu dans les mêmes conditions et qu'il désigne, à tort selon moi, comme un sel acide : 2 (SiO². 12 MoO³). 3 Ag²O. H²O + 21 H²O.

Hydrate à 30H²O.



Quand la température s'abaisse à 12° ou 14°, l'évaporation donne naissance à des cristaux jaunes, dont la composition varie fort peu avec celle des eaux mères :

Composition du mélange initial.	I.	II.
Sel de potassium.....	12 ⁵	20 ⁵
Acide silicomolybdique.	15	15
Nitrate d'argent.....	5,5	5,5
Eau.....	180	180

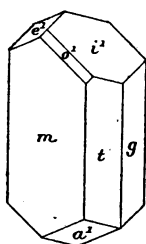
	Trouvé.		Théorie.
SiO ²	2,44	2,64	2,44
MoO ³	70	70,20	70,44
Ag ² O.....	14,55	13,78	14,19
K ² O.....	2,05	2,44	1,92
H ² O.....	10,86	10,83	11

Cristaux tricliniques, souvent volumineux, très limpides au sein de l'eau mère et d'un jaune légèrement ambré. Ils se troublent et s'effleurissent au contact de l'air, tout en conservant des faces réfléchissantes et passent ainsi à l'hydrate rouge à 14H²O.

La même transformation s'accomplit, mais plus lentement, au sein de l'eau mère, lorsqu'elle se réchauffe à l'air libre; les cristaux jaunes se désagrègent et sont remplacés par des petits cristaux rouges, groupés d'ailleurs d'une façon quelconque et sans aucun rapport avec le contour initial du cristal jaune.

Forme cristalline. — Formes observées : $m(1\bar{1}0)$, $g(010)$, $t(110)$, $i'(011)$, $a'(\bar{1}01)$, $e'(0\bar{1}1)$, $o'(101)$.

Fig. 3.



$$0,5919 : 1 : 0,4832.$$

$$\begin{array}{ll} \alpha = 98^{\circ}.44'; & gh = 99^{\circ}.49'; \\ \beta = 95.10; & pg = 96.48; \\ \gamma = 80; & ph = 79.3. \end{array}$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.
<i>mg</i> ($\bar{1}10$) - (010).....	»	*52.30
<i>gt</i> (010) - ($\bar{1}10$).....	»	*67.10
<i>gi</i> (010) - (011).....	»	*69.55
<i>mi</i> ($\bar{1}10$) - (011).....	»	*85.25
<i>ai</i> ($\bar{1}01$) - (011).....	»	*46.15
<i>it</i> (011) - ($\bar{1}10$).....	73.32	73.15
<i>ei</i> ($\bar{0}11$) - (011).....	51.15	51.30
<i>ae</i> ($\bar{1}01$) - ($\bar{0}11$).....	52. 3	52.23
<i>am</i> ($\bar{1}01$) - ($\bar{1}10$).....	63.34	63.45
<i>go</i> (010) - (101).....	100.34	100.54
<i>ot</i> (101) - ($\bar{1}10$).....	55. 9	55

Analyse. — La présence de l'argent apporte quelques difficultés au dosage de l'acide molybdique, car la méthode si commode, qui consiste à volatiliser ce corps dans un courant de gaz chlorhydrique, n'est plus applicable sans modifications : le chlorure d'argent formé empâte la matière par fusion et la soustrait à l'action du gaz chlorhydrique.

On y parvient cependant, en broyant finement la substance avec du chlorure de sodium sec, qui la maintient dans un état de division convenable.

L'argent se dose par précipitation à l'état de chlorure dans la dissolution nitrique du sel, sans que la présence de l'acide silicomolybdique altère l'exactitude du dosage.

Les eaux filtrées sont concentrées et rassemblées dans un creuset de porcelaine, puis, sur le résidu sec, chauffé au-dessous du rouge, on fait arriver, par un tube de porcelaine, un courant de gaz chlorhydrique. L'acide molybdique ayant disparu, la silice et le chlorure de potassium restants sont séparés et pesés sans difficulté.

En somme, l'action du silicomolybdate de potassium sur le nitrate d'argent, dans une liqueur riche en acide silico-

molybdique, donne un silicomolybdate double de potassium et d'argent, dont l'hydratation varie avec la température et quelquefois avec le degré de concentration finale du liquide.

Parmi les hydrates observés, les mieux caractérisés par leur forme cristalline sont l'hydrate à $30\text{H}^2\text{O}$ et l'hydrate à $14\text{H}^2\text{O}$.

L'hydrate à $30\text{H}^2\text{O}$ perd facilement de l'eau et retourne à l'hydrate inférieur, soit au sein de son eau mère, par une légère élévation de température, soit par simple efflorescence à l'air libre.

L'hydrate à $14\text{H}^2\text{O}$ se distingue du précédent et des silicomolybdates en général par sa coloration rouge, mais sa composition et surtout la facilité avec laquelle il dérive du sel jaune à $30\text{H}^2\text{O}$ montrent qu'il n'en diffère point par sa nature chimique.

La cause de cette couleur particulière, qui ne s'observe qu'à l'état solide et jamais en solution, doit être recherchée hors de la molécule chimique, dans la structure cristalline. L'influence de la structure cristalline sur la couleur est d'ailleurs justifiée par l'exemple du polychroïsme, où un même individu cristallin se montre différemment coloré, suivant trois directions perpendiculaires entre elles.

Sur les nitrates doubles des métaux alcalins et des terres de la cérise;

Par M. G. WYROUBOFF.

Dans une Note insérée dans le *Bulletin de la Société minéralogique* de 1906 (¹), j'ai décrit les propriétés optiques des sels

(¹) T. XXIX, 1906, p. 324.

ammoniacaux $3\text{MO N}^2\text{O}^5$, $2(\text{NH}^4)^2\text{ON}^2\text{O}^5$, $8\text{H}^2\text{O}$ et annoncé incidemment qu'on pouvait les obtenir à l'état anhydre en cristaux isotropes doués d'un pouvoir rotatoire assez énergique.

J'ai étendu plus tard ces recherches aux sels des autres métaux alcalins, qui présentent, comme on va le voir, quelques faits très intéressants. La préparation de tous ces sels ne va pas sans quelques difficultés. Les nitrates alcalins, sauf le nitrate d'ammonium, sont beaucoup moins solubles que les nitrates des terres cériques et cristallisent les premiers en grande quantité. Il faut continuer la cristallisation sans s'inquiéter de ce dépôt qui disparaît petit à petit pour faire place aux cristaux du sel double généralement très beaux, malheureusement toujours plus ou moins déliquescents.

SELS HYDRATÉS.

Sel de rubidium.

1. — $3\text{CeON}^2\text{O}^5$, $2\text{Rb}^2\text{ON}^2\text{O}^5$, $8\text{H}^2\text{O}$.

On obtient ce sel en cristallisant soit à la température ordinaire sur l'acide sulfurique, soit à l'étuve à 30° - 40° . Il donne de très beaux cristaux qui perdent toute leur eau à 100° . Mais cette déshydratation se fait très lentement car il fond vers 80° . Il vaut mieux le laisser s'effleurir partiellement vers 70° ; on chasse alors très facilement le restant de l'eau à 100° .

		Trouvé.
3CeO	23,61	23,61
$2\text{Rb}^2\text{O}$	27,00	26,80
$5\text{N}^2\text{O}^5$	39,00	(39,03)
$8\text{H}^2\text{O}$	10,39	10,56
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Le sel est rigoureusement isomorphe avec le sel ammonique

correspondant. Je lui donne, comme à tous les sels analogues qui vont suivre, l'orientation que j'ai indiquée dans la Note que je rappelais tout à l'heure et qui me paraît d'autant plus rationnelle que les cristaux sont souvent allongés suivant l'ancienne arête $b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}\bar{1})-(111)$ jusqu'à devenir de minces aiguilles, et que dans mon orientation cet allongement correspond à l'axe vertical.

Faces observées : $p(001)$, $h^1(100)$, $m(110)$, $d^{\frac{1}{2}}(111)$, $d^{\frac{1}{2}}(221)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{2}21)$, $a^{\frac{1}{2}}(\bar{2}01)$.

$$1,2298 : 1 : 0,9910; ph^1 = 101^{\circ}16'.$$

Angles.	Calculés.	Observés.	Sel de NH ⁴ (Fock).
$ph^1(001)-(100)$	101.16 ⁰	" ⁰	101.71 ⁰
$mm(\bar{1}10)-(110)$	79.20	"	78.57
$mh^1(110)-(100)$	"	*129.40	"
$mp(110)-(001)$	"	*97.10	97.30
$a^{\frac{1}{2}}p(\bar{2}01)-(001)$	113.26	113.28	112.45
$b^{\frac{1}{2}}p(\bar{2}21)-(001)$	"	*105.18	104.48
$b^{\frac{1}{2}}a^{\frac{1}{2}}(\bar{2}21)-(\bar{2}01)$	131.32	131.28	"
$b^{\frac{1}{2}}p(\bar{1}11)-(001)$	123.57	"	"
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}\bar{1})-(\bar{1}11)$	99.54	100	"
$d^{\frac{1}{2}}p(111)-(001)$	117.42	117.34	"
$d^{\frac{1}{2}}d^{\frac{1}{2}}(1\bar{1}\bar{1})-(111)$	93.14	"	"
$d^{\frac{1}{2}}d^{\frac{1}{2}}(\bar{2}\bar{2}1)-(\bar{2}21)$	110.30	"	"
$d^{\frac{1}{2}}p(221)-(001)$	132.44	132.46	"

Plan des axes optiques *perpendiculaire* au plan de symétrie, bissectrice aiguë négative faisant un angle apparent de $29^{\circ}44'$ avec une normale à la base dans l'angle obtus $(100)-(001)$, $2E = 42^{\circ}$, avec $\rho < v$ assez notable. Ce sont donc bien là les

propriétés optiques du sel ammonique, si l'on remarque que dans la nouvelle orientation la position de la bissectrice s'y trouve comptée dans l'angle *obtus* des axes cristallographiques. L'angle apparent avec la normale à $p(001)$ y est en effet de $33^{\circ}2'$ et les axes optiques donnent $2E = 36^{\circ}10'$.

2. — $3\text{LaON}^2\text{O}^6, 2\text{Rb}^2\text{ON}^2\text{O}^6, 8\text{H}^2\text{O}$.

Ce sel, comme le sel de cérium, se forme dans des limites très étendues de température, mais pour avoir de beaux cristaux bien limpides le mieux est de cristalliser vers 15° - 20° sur l'acide sulfurique. Il se dépose d'abord du nitrate rubidique qui disparaît peu à peu.

L'analyse a été faite en précipitant le lanthane par l'ammoniaque, évaporant la liqueur filtrée et chauffant le résidu d'abord avec précaution pour décomposer le nitrate ammoniacal pris à une température suffisante pour fondre le nitrate rubidique. Le sel perd son eau à 100° .

3LaO	23,46	23,34
4NO ² Rb.....	42,66	42,87
3N ² O ⁵	23,46	(23,44)
8H ² O	10,42	10,35
	100,00	100,00

Les gros cristaux légèrement déliquescents sont en général aplatis suivant la base, mais quelquefois aussi, surtout lorsqu'ils se sont formés à une température plus élevée, allongés suivant l'axe vertical. Ils sont géométriquement et optiquement aussi isomorphes que possible avec les cristaux du sel ammoniacal correspondant.

Faces observées : $p(001)$, $h^1(100)$, $m(110)$, $o^{\frac{1}{2}}(201)$, $a^{\frac{1}{2}}(\bar{2}01)$, $d^{\frac{1}{2}}(111)$, $d^{\frac{1}{2}}(221)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{2}21)$.

$$1,2349 : 1 : 0,9888; p h^1 = 101^{\circ}.$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.	Sel de NH ⁴ .
$mm(\bar{1}10)-(110)$	79. 2	79. 6	78.34
$ph^1(001)-(100)$	»	*101	»
$o^{\frac{1}{2}}p(201)-(001)$	129.43	129.35	»
$a^{\frac{1}{2}}p(\bar{2}01)-(001)$	»	*113.50	113.35
$mp(111)-(001)$	96.58	97. 4	97. 7
$d^{\frac{1}{2}}p(111)-(001)$	132.42	132.40	»
$d^{\frac{1}{2}}d^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)-(111)$	110.22	»	»
$d^{\frac{1}{2}}p(221)-(001)$	117.36	117.32	»
$b^{\frac{1}{2}}p(\bar{1}11)-(001)$	124. 4	124	»
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)-(\bar{1}11)$	99.52	»	»
$b^{\frac{1}{2}}p(\bar{2}21)-(001)$	»	*105.32	104.33
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{2}\bar{2}1)-(\bar{2}21)$	83	83	82.11

Comme dans le sel ammoniacal le plan des axes est ici *parallèle* au plan de symétrie. La bissectrice aiguë négative fait avec la normale à la base un angle de 35° 20' dans l'angle obtus des axes; il est de 32° pour le sel ammoniacal; 2 E = 26° 30' au lieu de 23° dans le sel ammoniacal. Dans les deux cas, on a une dispersion notable $\rho > v$.

3. — 3DiON²O⁵, 2Rb²ON²O⁵, 8H²O.

Mon didyme était absolument exempt de cérium et de lanthane et renfermait surtout du néodidyme avec quelques centièmes de praséodidyme. Le sel double est excessivement soluble et sa solubilité croît beaucoup avec la température, de sorte qu'il importe de cristalliser à une température aussi basse que possible. Les cristaux, assez gros, se déposent dans une eau mère presque sirupeuse et sont beaucoup plus délicuescents que ceux des sels de cérium et de lanthane.

L'analyse a été conduite comme celle du composé précédent.

3 DiO.....	24,11	23,94
4 NO ³ Rb.....	42,30	42,60
3 N ² O ⁵	23,25	(22,70)
8 H ² O.....	10,34	10,76
	100,00	100,00

Le sel perd son eau complètement à 100°.

Les cristaux se mesurent difficilement, à cause de leur grande déliquescence. Ils sont plus simples que ceux des deux sels précédents et je n'y ai observé que les faces $p(001)$, $m(110)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{2}21)$.

$$1,2276 : 1 : 1,0153 ; ph = 100^{\circ} 29'.$$

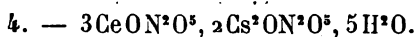
Angles.	Calculés.	Mesurés.	Sel de NH ⁴ .
$mm(1\bar{1}0)-(110)...$	»	$79^{\circ} 18'$	$78^{\circ} 48'$
$pm(001)-(110)...$	»	96.40	»
$b^{\frac{1}{2}}p(\bar{2}21)-(001)...$	»	105	104.54
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{2}\bar{2}1)-(\bar{2}21)...$	83°	83.10	82.4

Plan des axes optiques *perpendiculaire* au plan de symétrie ; la bissectrice aiguë négative faisant, avec une normale à la base, un angle apparent de 43° dans l'angle obtus ph^1 ; $2E = 48^{\circ} 36'$ avec dispersion faible $\rho < v$. Dans le sel ammoniacal du néodidyme, l'inclinaison de la bissectrice est de 30° avec $2E = 43^{\circ} 10'$ et $\rho < v$ faible.

Les deux séries de sels sont donc tout à fait analogues, ce qui n'a rien d'étonnant du reste, le rubidium remplaçant isomorphiquement l'ammonium dans la plupart des sels simples ou doubles connus. Ce qui est plus curieux, c'est que le rubidium soit le seul parmi les métaux alcalins qui puisse remplacer l'ammonium dans ce type de sels sans changer le caractère du réseau. Nous allons voir, en effet, que tous les

autres éléments de la famille donnent des composés d'une tout autre nature.

Sels de césium.



On sait que le nitrate de césium est relativement peu soluble. Si l'on mélange les deux nitrates dans la proportion théorique indiquée par la formule, on a d'abord, même si l'on cristallise à 30° , un abondant dépôt de NO^3Cs qui disparaît au fur et à mesure de l'évaporation et fait place, lorsque la liqueur est devenue tout à fait sirupeuse, à d'assez gros cristaux du sel double. Quelle que soit la température à laquelle on évapore la solution entre 15° - 40° , c'est toujours le même composé qu'on obtient. Son analyse, faite par le procédé qui a été indiqué plus haut, a donné les résultats suivants :

3 CeO	21,50	21,59
4 NO ³ Cs.....	51,28	51,25
3 N ² O ⁵	21,36	(21,28)
5 H ² O	5,92	5,88
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Malgré la moindre quantité d'eau de cristallisation, les cristaux sont beaucoup moins déliquescents que ceux du sel rubidique correspondant, mais leurs faces sont, en général, peu réfléchissantes, de sorte que les mesures sont assez médiocres. Ils ressemblent beaucoup aux cristaux des sels à $8\text{H}^2\text{O}$, à cela près qu'ils présentent toujours les faces $e(0kl)$, qui n'existent jamais dans les sels ammoniques et rubidiques.

Faces observées : $p(001)$, $m(110)$, $e^{\frac{1}{2}}(021)$, $d^{\frac{1}{2}}(111)$.

$$1,2052 : 1 : 0,9816; ph^1 = 103^\circ 41'.$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.	Sel de Rb.
$mm(1\bar{1}0)-(110)...$	»	*81°	79.20'
$mp(110)-(001)...$	»	*98.50	97.10
$d^1p(111)-(001)...$	133.58'	134	132.46
$d^1d^1(1\bar{1}1)-(111)...$	112.38	»	110.30
$e^1p(021)-(001)...$	»	*117.40	»
$me^{\frac{1}{2}}(110)-(021)...$	138.8	138	»

L'inspection de ce Tableau montre que les sels correspondants de rubidium et d'ammonium, d'une part, et de césium, de l'autre, malgré leur différence d'hydratation, ont des formes très voisines, et dont les différences ne dépassent pas les écarts qu'on constate souvent entre substances incontestablement isomorphes. Ils ne se distinguent que par la présence ou l'absence constante de certaines faces et par leurs propriétés optiques. Nous allons voir le même fait se reproduire pour le sel de lanthane.

Le plan des axes est *perpendiculaire* au plan de symétrie. Bissectrice aiguë négative faisant un angle apparent de 25° avec une normale à la base dans l'angle obtus $ph^1(001-100)$; $2E = 135^\circ$. Dispersion faible $p < v$.

5. — $3LaON^2O^5, 2Cs^2ON^2O^5, 5H^2O$.

En tous points comparable au sel précédent. Un peu plus soluble et un peu plus déliquescent, quoique beaucoup moins que le sel correspondant de rubidium; il perd toute son eau à 100°, mais très lentement.

		Trouvé.
3LaO	21,35	21,56
4NO ³ Cs.....	51,37	51,09
3N ² O ⁵	21,35	(21,13)
5H ² O.....	5,93	6,22
	100,00	100,00

Même forme que le sel de cérium. Les cristaux sont souvent allongés suivant l'axe vertical (fig. 2).

Fig. 1.

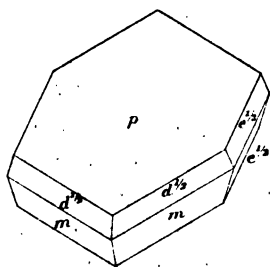
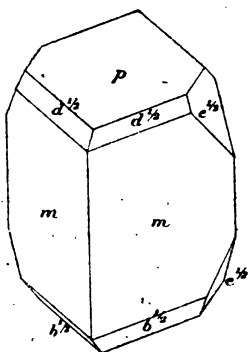


Fig. 2.



Faces observées: $p(001)$, $m(110)$, $e^{\frac{1}{2}}(021)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$.

$1,3052 : 1 : 0,9663$; $ph^1 = 103^\circ 26'$.

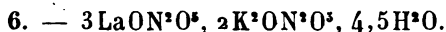
Angles.	Calculés.	Mesurés.	Sel de Rb.
$mm(\bar{1}\bar{1}0)-(110) \dots$	$80.56'$	$81'$	$79.6'$
$mp(110)-(001) \dots$	98.40	98.40	97.4
$b^{\frac{1}{2}}p(\bar{1}11)-(001) \dots$	»	$*123.40$	124.4
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)-(111) \dots$	»	$*100.20$	99.52
$e^{\frac{1}{2}}p(021)-(001) \dots$	»	$*118$	»
$b^{\frac{1}{2}}m(\bar{1}11)-(110) \dots$	103.36	103.34	»

Le plan des axes est *perpendiculaire* au plan de symétrie. Bissectrice aiguë négative, faisant un angle de 18° avec une normale à p dans ph^1 obtus; $2E = 103^\circ 30'$. Dispersion faible $\rho < v$.

Les deux sels précédents sont beaucoup plus solubles que les sels correspondants d'ammonium et de rubidium, et le sel de didyme l'est au point de ne pouvoir plus être ni ana-

lysé avec quelque exactitude, ni mesuré même approximativement. Il se forme au milieu d'un sirop épais et, quoique les cristaux soient assez gros, on ne peut les débarrasser de leur eau mère, car ils sont extrêmement déliquescents.

Sel de potassium.

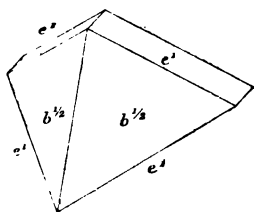


Je n'ai examiné que le sel de lanthane, l'expérience montrant que pour chaque métal alcalin les trois terres donnent des composés rigoureusement isomorphes. Lorsqu'on mélange les nitrates de lanthane et de potassium en proportions voulues, c'est le nitre qui cristallise le premier en quantité d'autant plus grande que la température est plus basse; le sel double n'apparaît en gros cristaux que lorsque la liqueur est devenue tout à fait sirupeuse. Les cristaux perdent toute leur eau à 110° .

		Trouvé.
3 La O.....	28,60	28,41
4 NO ³ K.....	35,65	35,69
3 N ² O ⁵	28,60	28,41
4,5 H ² O.....	7,15	7,20
	<u>100,00</u>	<u>99,71</u>

Malgré leur déliquescence les cristaux qui sont très simples peuvent être mesurés sans trop de difficulté. Ils sont orthorhombiques et nettement hémimorphes; les faces $b^{\frac{1}{2}}(111)$ n'apparaissent qu'à l'une des extrémités du cristal (*fig. 3*).

Fig. 3.



Faces observées : $b^{\frac{1}{2}}(111)$, $e^1(011)$.

0,5306 : 1 : 0,5696.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)-(111)$	137.34 ⁰	137.30 ⁰
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)-(111)$	78.54	79
$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)-(111)$	»	*93
$e^1e^1(0\bar{1}1)-(011)$	»	*120.40
$e^1b^{\frac{1}{2}}(001)-(\bar{1}\bar{1}1)$	111.46	111.50

Le plan des axes est parallèle à $p(001)$ et la bissectrice aiguë négative perpendiculaire à $g^1(010)$. Biréfringence assez forte, dispersion inappréciable; $2E = 117^{\circ}20'$.

Sel de sodium.

7. — $3\text{LaON}^2\text{O}^5$, $2\text{Na}^2\text{ON}^2\text{O}^5$, $3\text{H}^2\text{O}$.

Ce sel se distingue de tous les sels précédents par l'énergie avec laquelle il retient son eau de cristallisation. Il ne perd rien à 100° et ne perd que 1^{mol} à 120° , les deux autres ne s'éliminant qu'à une température voisine de celle à laquelle il fond. Lorsqu'on cristallise à 80° - 90° c'est encore le même hydrate qu'on obtient alors que tous les autres sels donnent à cette température, comme nous le verrons tout à l'heure, des composés anhydres d'une tout autre formule.

Le sel est excessivement soluble et donne des cristaux déliquescents.

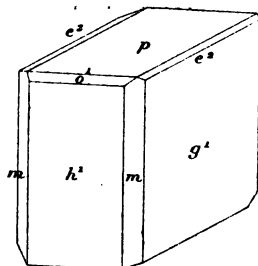
3LaO.....	31,09	31,16
4NO ³ Na.....	32,63	32,39
3N ² O ⁵	31,09	(31,36)
3H ² O.....	5,19	5,09
	100,00	100,00
à 120° : H ² O....	1,72	1,60

Le sel de cérium est tout à fait analogue, mais cristallise moins bien. J'y ai trouvé 31,76 pour 100 de CeO (théorie : 31,57 pour 100).

Les cristaux clinorhombiques parfois assez gros ont des faces ternes et j'ai eu beaucoup de peine à trouver quelques individus donnant des images à peu près passables.

Faces observées : $p(001)$, $h^1(100)$, $g^1(010)$, $m(110)$, $o^1(101)$, $e^2(012)$.

Fig. 4.



$$1,9970 : 1 : 0,76775; \quad ph^1 = 90^\circ 32'.$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$mm(1\bar{1}0)-(110)$	53.12	"
$mh^1(110)-(100)$	"	*116.24
$ph^1(001)-(100)$	"	*90.32
$o^1p(101)-(001)$	159.30	159.18
$e^2e^2(0\bar{1}2)-(012)$	138	"
$e^2p(012)-(001)$	"	*159

Le plan des axes optiques est perpendiculaire au plan de symétrie. La bissectrice aiguë positive fait avec l'axe vertical un angle apparent de $22^\circ 30'$ dans l'angle aigu $ph^1(001)-(100)$; $2E = 21^\circ 50'$. Dispersion très forte $\rho > v$. Biréfringence moyenne.

Sel de pyridine.

8. — $3\text{CeON}^3\text{O}^5$, $2(\text{C}^5\text{H}^5\text{NH})^3\text{ON}^2\text{O}^5$, $7\text{H}^2\text{O}$.

Il était intéressant de voir comment se comporteraient dans ce type de sels doubles les ammoniacques composées. J'ai choisi la pyridine qui donne en général avec les sels minéraux des composés doubles très bien cristallisés. Un mélange en proportions indiquées par la formule de nitrate cérique et de nitrate de pyridine, évaporé à la température ordinaire sur l'acide sulfurique, donne en effet très facilement de gros cristaux très légèrement déliquescents, mais qui ne ressemblent ni par leur composition ni par leur forme à aucun des sels précédents. L'eau est complètement chassée à 100° . Le cérium a été dosé par précipitation à l'ammoniaque et calcination à haute température, le carbone par combustion. Ces trois éléments suffisent à fixer la formule sans hésitation.

		Trouvé.
3CeO	24,98	24,70
20C. ...?	18,33	18,33
20H.....	1,52	»
4N.....	4,28	»
5N ² O ⁵	41,26	»
7H ² O.....	9,63	9,61
	100,00	

Les cristaux sont orthorhombiques à faces peu réfléchissantes et présentent deux types bien distincts. Les cristaux de la première forme (*fig. 6*) se déposent toujours les premiers; leur composition est du reste la même que celle des cristaux de la deuxième forme (*fig. 7*).

Faces observées : $p(001)$, $g'(010)$, $a'(101)$, $e'(011)$, $e^2(012)$, $b^{\frac{1}{2}}(111)$, $x(212)$.

Fig. 5.

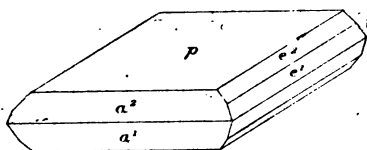
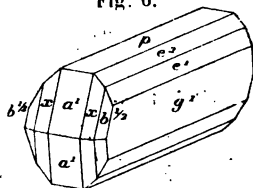


Fig. 6.



0,9536 : 1 : 2,2286.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$a^1p(101)-(001)$	»	*113.10'
$b^{\frac{1}{2}}a^1(111)-(101)$	138.46	138.40
$xa^1(212)-(101)$	»	*156.20
$e^2p(012)-(001)$	131.55	132
$e^1p(011)-(001)$	114.10	114

Les cristaux généralement troubles et très fragiles ne se prêtent pas à la détermination des propriétés optiques.

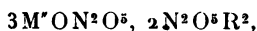
J'ai essayé de préparer les sels de thallium et d'argent. Le premier donne bien, surtout lorsqu'on évapore la solution vers 30°-40°, quelques cristaux d'un sel double, mais ils sont empâtés de cristaux de nitrate thalleux peu solubles et qui se déposent les premiers, en si grande quantité, qu'il m'a été impossible de les analyser. On obtient en revanche, comme on le verra plus loin, un sel anhydre analogue aux sels anhydres des autres métaux alcalins. Quant au nitrate d'argent il ne paraît pas pouvoir se combiner aux nitrates des terres rares, car je l'ai toujours vu cristalliser séparément à toutes les températures.

SELS ANHYDRES.

Lorsqu'on évapore la solution d'un des sels précédents, sauf celui de sodium, à une température supérieure à 70°, on

voit se former des cristaux anhydres parfois très gros et généralement limpides qui ont la forme du dodécaèdre rhomboïdal portant souvent de petites facettes de l'octaèdre régulier. Ces cristaux sont isotropes et toujours doués de pouvoir rotatoire variable d'un sel à un autre, mais en tous cas bien supérieur à celui que présente le chlorate de sodium. Il est absolument impossible de les retirer de l'eau mère sirupeuse dans laquelle ils se sont formés; par le refroidissement ils deviennent immédiatement ternes ou se recouvrent d'une couche de sel hydraté. Pour leur conserver leur éclat il faut décanter l'eau mère sans sortir le cristalliseur de l'étuve et les laisser *complètement* dessécher à la température à laquelle ils se sont formés, ce qui exige au moins 48 heures, car il importe de ne pas laisser la moindre trace d'eau mère. Ces cristaux ne sont nullement déliquescents, mais ils attirent très rapidement l'humidité de l'air et se recouvrent de cristaux aciculaires d'un hydrate qui paraît être identique à l'hydrate de $5\text{H}^2\text{O}$, qui est normal pour le sel de césium.

Je n'avais examiné que le sel lanthano-ammonique, dans lequel j'avais trouvé par calcination 33,70 pour 100 de LaO , et j'avais attribué à ces composés la formule

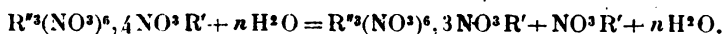


qui exigeait 33,46 pour 100 de LaO . Ma détermination était cependant inexacte et la formule de ces sels est tout autre. Mon erreur analytique vient de ce que j'ai opéré non sur les cristaux isolés mais sur l'ensemble de ce qui restait dans le cristalliseur après évaporation à sec à 80° . Les cristaux isolés limpides donnent par calcination 36,36 pour 100 de LaO .

Il est facile de voir du reste que les sels anhydres n'ont pas le même rapport entre les deux métaux di- et monatomiques

sans recourir à l'analyse. Il suffit d'évaporer à sec vers 80° le sel double de didyme et d'ammoniaque; les dernières parties sont tout à fait incolores et sont du nitrate ammoniacal pur. On peut le voir autrement encore. Lorsqu'on fond entre deux lames de verre l'un des sels à $8\text{H}^2\text{O}$, il commence par fondre dans son eau de cristallisation, puis perd cette eau en devenant opaque; enfin, à une température plus élevée il éprouve une seconde fusion. En observant au microscope la cristallisation par refroidissement on voit se déposer d'abord la majeure partie à l'état de cristaux isotropes, puis à une température beaucoup plus basse en petite quantité des cristaux très biréfringents. Le sel déshydraté soit au sein de l'eau, soit par fusion, se scinde donc en deux corps distincts, un sel double et le nitrate alcalin.

En choisissant des cristaux limpides tout à fait isotropes du premier dépôt, on arrive pour tous ces sels à la formule $\text{R}^n\text{ON}^2\text{O}^3\text{N}^3\text{R}'$. Le mécanisme de la formation de ces sels est donc celui-ci :



Un mélange renfermant les deux nitrates dans la proportion 1 : 1 donne jusqu'à la fin des cristaux homogènes du sel anhydre.

L'analyse de quelques-uns de ces sels m'a donné les résultats suivants :

Sel d'ammonium.

	Calculé.	Trouvé.
LaO	36,49	36,14
NO^3NH^3	27,02	»
N^3O^6	36,49	»
	100,00	

Sel de potassium.

		Trouvé.
LaO	34,07	34,32
NO ³ K.....	31,86	31,88
N ² O ⁵	34,07	(33,80)
	100,00	100,00

Sel de rubidium.

CeO	29,40	29,65
NO ³ Rb.....	40,47	40,13
N ² O ⁵	29,63	(30,12)
	100,00	100,00

Sel de thallium.

LaO	22,40	21,93
NO ³ Tl	55,20	56
N ² O ⁵	22,40	(22,07)
	100,00	100,00

Ce dernier sel cristallise très mal en croûtes composées de cristaux indistincts, mais il est facile de voir au microscope que ces cristaux sont, comme ceux de tous les sels précédents, isotropes et doués de pouvoir rotatoire.

L'étude de ces sels appelle l'attention sur un certain nombre de faits intéressants et soulève une série de questions que nous sommes fort loin de pouvoir résoudre dans l'état actuel de nos connaissances en Chimie minérale et en Physique moléculaire.

La première chose qui frappe est l'absence d'isomorphisme entre le césium d'une part, le rubidium et l'ammonium de l'autre. On sait en effet que ces trois radicaux se remplacent facilement dans tous les composés simples ou doubles connus.

Il est vrai que la forme de tous ces composés est, comme

je l'ai fait remarquer, à peu de chose près identique; mais l'ellipsoïde optique est fort différent et l'hydratation tout autre. Il ne peut donc s'agir ici que d'un isomorphisme partiel dans lequel les mélanges ne donnent plus une série continue, mais présentent des lacunes ou des formes intermédiaires différentes de celles des deux corps mélangés.

Dans le cas que j'examine aujourd'hui, la possibilité de la cristallisation simultanée est particulièrement intéressante, car le sel de césium ne se distingue pas seulement des sels d'ammonium et de rubidium par son hydratation, il possède certainement une constitution tout autre.

Nos idées sur les sels doubles et même sur les sels simples sont, jusqu'à présent, extrêmement simplistes. Nous nous contentons d'écrire côte à côte les deux parties composantes, sans nous préoccuper le moins du monde de savoir comment ces parties peuvent être disposées dans la molécule. Nous en sommes encore, en Chimie minérale, au point où la Chimie organique était au commencement du siècle qui vient de finir. Nous nous considérons comme satisfaits lorsque nous avons la composition centésimale, aussi exacte que possible, du composé. Nous savons cependant, à n'en pas douter, qu'il existe des isomères, non seulement dans des sels hydratés, comme les deux sulfates de fer récemment décrits par M. Recoura ⁽¹⁾, mais encore dans les sels anhydres, comme dans les deux sels $\text{Fe}^2(\text{SO}^4)^3$ du même auteur. Quant aux sels doubles, on les met systématiquement hors de cause, puisqu'ils sont censés être des composés moléculaires « n'obéissant plus aux lois qui président à la formation des composés atomiques ». Ces vieilles opinions, contestables et contestées même à l'époque où elles ont été émises, sont aujourd'hui en

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 8^e série, t. XI, 1907, p. 263.

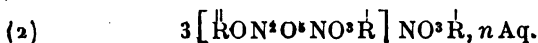
contradiction avec tous les faits, et ne se maintiennent encore que par cette sorte de routine dont la Science montre plus d'un exemple, et par l'absence de toute autre interprétation. Il est certain, cependant, que des sels doubles peuvent présenter, malgré leur apparente similitude, des différences fonctionnelles considérables, qui ne permettent pas de les confondre, et les sels que j'examine en offrent un très remarquable exemple.

J'ai montré, plus haut, que les sels d'ammonium et de rubidium cristallisés à 80° se scindaient en sel double anhydre et en nitrate alcalin, et que les sels de césium cristallisaient, au contraire, à toutes les températures pratiquement réalisables avec la même composition et la même quantité d'eau. On arrive au même résultat lorsqu'on cristallise par fusion les sels de césium et de rubidium (le sel d'ammonium ne pouvant être fondu sans décomposition); le premier donne, par refroidissement, des cristaux homogènes probablement orthorhombiques assez faiblement biréfringents; le second se scinde, comme je l'ai déjà dit plus haut, en une substance isotrope, qui se dépose la première, et en nitrate rubidique biréfringent.

Nous ne possédons actuellement aucune idée directrice nous permettant de donner à ces deux sortes de composés des formules quelque peu rationnelles, mais nous pouvons admettre cependant, dans une première et grossière approximation, que si le sel de césium est



les sels d'ammonium et de rubidium sont



Ces formules indiquent que dans le premier cas l'eau seule

est éliminée, dans le second l'eau et une molécule de nitrate alcalin.

A ces sels, il faut ajouter ceux de sodium et de potassium qui, malgré la différence de leur hydratation, se comportent, soit dans leur solution aqueuse, soit après fusion, le premier comme le composé de césium, le second comme les composés d'ammonium et de rubidium.

Mais il est un autre point qu'il importe de considérer. L'eau que ces composés renferment est certainement, en tout ou en partie, de l'eau de constitution. On remarquera, en effet, que dans le sel de sodium on n'arrive à chasser, même à 120°, qu'une seule molécule d'eau.

Nous n'avons actuellement aucun moyen d'établir ici des formules rationnelles rendant compte des propriétés qu'on constate, à moins de faire des hypothèses qui n'auraient aucune valeur scientifique, car elles seraient toutes parfaitement arbitraires. Cela démontre, une fois de plus, combien précaires sont nos connaissances sur la constitution des sels.

J'ai fait des mélanges en diverses proportions du sel lanthane-ammonium à $8\text{H}^2\text{O}$, d'une part avec le sel lanthane-césium à $5\text{H}^2\text{O}$, de l'autre avec le sel lanthane-potassium à $4,5\text{H}^2\text{O}$. J'ai dosé dans ces mélanges l'eau, le lanthane et le nitrate alcalin, données qui suffisent pour calculer les proportions des corps mélangés. Je ferai remarquer, à ce propos, que le lanthane doit être précipité par l'ammoniaque et non par l'oxalate d'ammoniaque ou l'acide oxalique, comme on le fait habituellement. L'oxalate d'ammoniaque précipite en même temps une certaine quantité d'alcali fixe qu'il est impossible d'enlever par le lavage, et l'acide oxalique, en présence d'acide nitrique libre, même en petite quantité, ne précipite pas complètement le lanthane.

A.

Mélanges de La, Cs et La, NH⁺.

En ajoutant des quantités croissantes de sel ammonique au sel de césium, on constate que le rapport LaO : H²O n'est pas constant, mais augmente à mesure qu'augmente la proportion du sel ammoniacal, jusqu'à ce qu'elle atteigne la moitié du mélange; on a alors 3 LaO : 8 H²O.

Il faut conclure de là que, dans les mélanges riches en césium, les deux sels conservent leur hydratation propre et que ce n'est qu'à partir d'une certaine proportion que le sel de césium prend l'hydratation du sel ammonique. C'est le même fait que celui observé récemment par M. Copaux, dans les mélanges de silicomolybdate de baryum et d'acide silicomolybdique, et dans les mélanges de silicomolybdate et silicotungstate de baryum (1).

Tous ces mélanges ont la forme du sel ammonique et ne possèdent pas la face $e^{\frac{1}{2}}$ (021), caractéristique du sel de césium. Les axes optiques sont placés comme dans le sel ammonique, c'est-à-dire *parallèlement* au plan de symétrie, mais sont très écartés ($2E = 110^{\circ}$), et l'un d'eux se trouve assez exactement au milieu du champ.

1.

70,51 3 N²O⁵LaO, 4 NO³Cs, 5 H²O,
29,49 3 N²O⁵LaO, 4 NO³NH⁺, 8 H²O.

		Trouvé.
LaO.....	23,64	23,56
N ² O ⁵	23,64	23,56
NO ³ Cs.....	36,24	36,24
NO ³ NH ⁺	8,49	(8,70)
H ² O.....	7,99	7,94
	100,00	100,00

LaO : H²O = 3 : 6,05.

(1) *Bulletin de la Société de Minéralogie*, t. XXIX, 1906, p. 77.

2.

62,20	3 N ² O ⁵ LaO, 4 NO ³ Cs, 5 H ² O,	
37,80	3 N ² O ⁵ LaO, 4 NO ³ NH ⁴ , 8 H ² O.	
		Trouvé.
LaO	24,27	23,99
N ² O ⁵	24,27	23,99
NO ³ Cs	31,96	31,96
NO ³ NH ⁴	10,90	(11,06)
H ² O	8,60	9,00
	100,00	100,00

$$\text{LaO} : \text{H}^2\text{O} = 3 : 6,75.$$

3.

49,59	3 N ² O ⁵ LaO, 4 NO ³ Cs, 8 H ² O,	
50,41	3 N ² O ⁵ LaO, 4 NO ³ NH ⁴ , 8 H ² O.	
		Trouvé.
LaO	24,91	24,70
N ² O ⁵	24,91	24,70
NO ³ Cs	24,61	24,61
NO ³ NH ⁴	14,50	(14,87)
H ² O	11,07	11,12
	100,00	100,00

$$\text{LaO} : \text{H}^2\text{O} = 3 : 8,1.$$

B.

Mélanges de La, K et La, NH⁴.

Suivant la proportion du mélange, on obtient deux sortes de cristaux : les uns isomorphes avec le sel ammonique, mais avec le plan des axes *perpendiculaire* au plan de symétrie, des axes peu écartés (maximum $2E = 30^\circ$ dans le mélange 3) et une dispersion notable $p < v$, inverse de celle qu'on observe dans les sels ammonique et rubidique ; les autres,

de la forme orthorhombique hémimorphe, appartenant au sel potassique pur.

Dans les premiers, le rapport $\text{LaO} : \text{H}^2\text{O} = 3 : 4,5$; dans les seconds ce rapport est $3 : 8$.

1.

59,03 $3 \text{ N}^2\text{O}^5 \text{ La O}, 4 \text{ NO}^3 \text{ K}, 8 \text{ H}^2\text{O},$
 40,97 $3 \text{ N}^2\text{O}^5 \text{ La O}, 4 \text{ NO}^3 \text{ NH}^4, 8 \text{ H}^2\text{O}.$

		Trouvé.
La O	27,93	27,70
N ² O ⁵	27,93	27,70
NO ³ K.....	19,95	19,95
NO ³ NH ⁴	11,79	(12,01)
H ² O.....	12,40	12,64
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

2.

72,17 $3 \text{ N}^2\text{O}^5 \text{ La O}, 4 \text{ NO}^3 \text{ K}, 8 \text{ H}^2\text{O},$
 27,83 $3 \text{ N}^2\text{O}^5 \text{ La O}, 4 \text{ NO}^3 \text{ NH}^4, 8 \text{ H}^2\text{O}.$

		Trouvé.
La O	27,66	27,42
N ² O ⁵	27,66	27,42
NO ³ K.....	24,38	24,38
NO ³ NH ⁴	8,01	(8,18)
H ² O.....	12,29	12,60
	<u>100,00</u>	

3.

86,26 $3 \text{ N}^2\text{O}^5 \text{ La O}, 4 \text{ NO}^3 \text{ K}, 8 \text{ H}^2\text{O},$
 13,74 $3 \text{ N}^2\text{O}^5 \text{ La O}, 4 \text{ NO}^3 \text{ NH}^4, 8 \text{ H}^2\text{O}.$

		Trouvé.
La O	27,37	27,28
N ² O ⁵	27,37	27,28
NO ³ K.....	29,14	29,14
NO ³ NH ⁴	3,95	(3,84)
H ² O.....	12,17	12,46
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

4.

96,02 $3\text{N}^2\text{O}^5\text{LaO}, 4\text{NO}^3\text{K}, 4,5\text{H}^2\text{O},$
 3,98 $3\text{N}^2\text{O}^5\text{LaO}, 4\text{NO}^3\text{NH}^4, 4,5\text{H}^2\text{O}.$

		Trouvé.
LaO	28,69	28,63
N ² O ⁵	28,69	28,63
NO ³ K	34,24	34,24
NO ³ NH ⁴	1,21	(1,45)
H ² O	7,17	7,05
	100,00	100,00

Les mélanges 3 et 4 peuvent s'obtenir d'une même solution abandonnée au refroidissement. Si l'on ajoute un germe d'un des mélanges 1 et 2 avant que la solution ne soit complètement refroidie, on obtient le mélange 3; si au contraire on la laisse se refroidir jusqu'à la température ambiante, il se dépose spontanément des cristaux orthorhombiques du mélange 4.

Il est un autre point de l'histoire de ces sels doubles qui mérite d'être signalé. On sait que la solution de sels ammoniacaux qui servent à la séparation des deux didymes se sursature avec une extrême facilité. Ce sont les seuls sels de la série qui présentent ce phénomène, car dans tous les autres cas les nitrates alcalins infiniment moins solubles que le sel double cristallisent les premiers, changeant ainsi à chaque instant la composition de la solution.

Dans mes recherches sur la solution (1) j'ai montré que la sursaturation d'une solution était le résultat de l'une de ces conditions nécessaires : existence d'un autre hydrate ou d'une autre forme du corps dissous. Cette règle résumait

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XXIV, 1901, p. 36.

très fidèlement l'ensemble des faits connus; aucune solution susceptible de se sursaturer n'y faisait exception. Mais voici le premier exemple où une troisième condition intervient.

Il est possible qu'il existe un autre hydrate du sel $3(R'ON^2O^2)$, $4NO^2NH^2$, et dans ma Note déjà citée ⁽¹⁾ j'ai fait voir que les cristaux déshydratés, lorsqu'ils absorbaient l'humidité ambiante, formaient des cristaux fort différents de ceux du composé à $8H^2O$ et dans lesquels j'avais trouvé des quantités d'eau fort variables d'ailleurs, mais voisines de $5H^2O$. Mais cet hydrate, que je n'ai jamais pu obtenir par l'évaporation de la solution à des températures progressivement croissantes, s'il existe, est extrêmement instable; il ne peut donc être la cause de la sursaturation qui présente ici une remarquable stabilité. On se trouve ainsi en présence d'un cas nouveau, le premier à ma connaissance, où un sel double se transforme à une température nettement déterminée (vers 70°) en un mélange d'un autre sel double et d'un sel simple, mélange qui peut rester stable même à des températures relativement basses et qui reconstitue immédiatement le sel primitif, soit par un abaissement suffisant de la température, soit au contact d'un germe du sel hydraté. Il serait intéressant de chercher d'autres cas analogues nous permettant de nous rendre compte de l'action jusqu'ici si obscure des germes cristallins sur les solutions sursaturées et qui paraît être chimique et physique à la fois, puisqu'ils agissent aussi bien dans le cas des corps dimorphes que dans celui où se produit une réaction chimique assez complexe, comme celle que je viens de citer.

⁽¹⁾ *Bull. Soc. Min.*, t. XXIV, 1901, p. 36.

Minéraux nouveaux ;

Par M. P. GAUBERT.

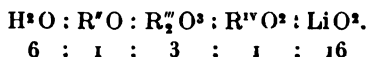
YTTROCRASITE. — Minéral orthorhombique ressemblant, par sa forme, à l'yttrotalantite [(100) (010), (001) dominant]. Les faces ne sont pas suffisamment brillantes pour donner de bonnes mesures goniométriques. Les cristaux, dont le poids atteint 60^{es}, sont enveloppés d'un enduit jaune brun provenant de la décomposition du minéral. Les parties fraîches sont noires, et ont l'éclat du polycrase et de l'euxénite.

La densité est de 4,8043 à 17° et la dureté, de 5,5 à 6.

La composition chimique est la suivante :

TiO², 49,72 ; Nb²O⁵, traces ; Ta²O⁵, traces ; WO³, 1,87 ; UO², 0,64 ; SiO², traces ; CO², 0,68 ; (Yt, Er)²O³, 25,67 ; Ce²O³, 2,92 ; Fe²O³, 1,44 ; ThO², 8,75 ; UO², 1,98 ; PbO, 0,48 ; MnO, 0,13 ; CaO, 1,83 ; MgO, traces ; H²O, 4,36. Total : 100,47.

On a donc les rapports suivants :



C'est donc surtout un titanate hydraté d'yttrium et de thorium.

Le minéral est radioactif (10 pour 100 du thorium et 2,08 pour 100 de l'uranium).

Il se trouve dans une pegmatite contenant de la gadolinite à Barringer Hill, Burnet Co, Texas. (W.-E. HIDDEN et C.-H. WARREN, *Am. Journ. of Science*, décembre 1906, p. 515.)

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1907. — BULLETIN n° 9.

Compte rendu de la Séance du 12 Décembre 1907.

PRÉSIDENCE DE M. A. LACROIX, *Vice-Président.*

M. le PRÉSIDENT proclame membre de la Société :

M. DUBLANC-LABORDE, commissaire des colonies, en retraite, Fort-de-France (Martinique).

M. le PRÉSIDENT annonce deux présentations: Il fait part à la Société de l'ouverture du 46^e Congrès des Sociétés savantes, à la Sorbonne, le 21 avril 1908, et signale les sujets d'étude signalés dans le programme, susceptibles d'intéresser les membres de la Société :

- 1^o La coloration des cristaux;
- 2^o L'étude minéralogique des roches sédimentaires.

M. TERMIER présente, de la part de M. G. Friedel, un Mémoire : « Études sur la loi de Bravais ».

M. A. LACROIX fait une Communication sur la forme du sel

gemme de l'oasis de Bilma (Sahara oriental) et sur des vanadates (vanadinite, endlichite, descloizite) dont il montre des échantillons (voir le *Bulletin* de janvier 1908).

M. A. LACROIX met, en outre, sous les yeux de la Société un beau cristal de calcite, translucide, d'un blanc un peu enfumé, provenant d'un bloc rejeté, en 1906, par la grande éruption du Vésuve. Cet échantillon consiste en un seul individu cristallisé, limité par des clivages rhomboédriques et des plans de séparation, accompagnés de macles suivant b^1 . Ces plans de séparation, se produisant suivant une seule face b^1 , permettent d'extraire de larges lames un peu ternies par des infiltrations calcaires secondaires.

Études sur la loi de Bravais;

Par M. G. FRIEDEL.

INTRODUCTION.

La loi fondamentale de la Cristallographie peut s'énoncer de diverses manières équivalentes. Je laisse de côté la forme « loi des zones », qui a été et est encore en honneur en Allemagne, mais qui heureusement a toujours paru peu satisfaisante en France. L'expression habituellement adoptée, qui n'est pas précisément due à Haüy, mais dérive immédiatement de son idée des décroissements, est connue sous le nom de « loi des troncatures rationnelles » ou de « loi de rationalité des caractéristiques » (en allemand, indices). Pour que cette loi ne se réduise pas à une affirmation mathématique inaccessible à l'observation, mais ait un sens comme

loi physique, il est indispensable d'ajouter un mot et de l'appeler « loi des troncatures rationnelles *simples* ». Elle peut s'énoncer ainsi : *Les directions de plans qui se manifestent dans un cristal homogène par les propriétés vectorielles discontinues (formes extérieures, plans de clivage, plans de macles, plans de glissement) sont parmi celles qui, dans un certain système d'axes de coordonnées convenablement choisis, ont des caractéristiques en rapports rationnels simples, ou, ce qui revient au même, ont des caractéristiques entières simples.*

Cela signifie uniquement, pour le physicien, que les mesures d'angles actuelles donnent, pour la très grande majorité des plans ainsi observés, des caractéristiques qui, d'une manière frappante, approchent de nombres entiers *simples* ⁽¹⁾, et qu'en adoptant pour caractéristiques ces nombres entiers on représente les mesures actuelles dans les limites de précision qu'elles ne peuvent dépasser, soit en raison de l'imperfection des instruments, soit surtout en raison de l'imperfection des faces, qui ne sont jamais rigoureusement planes. Dire que ces caractéristiques *sont* rationnelles n'a aucun autre sens. Il est complètement inutile d'admettre pour cela que ces caractéristiques, si l'on pouvait les mesurer rigoureusement et si les faces, clivages, etc., étaient rigoureusement plans, seraient rationnelles en toute rigueur. Tout ce qu'on pourrait déduire de cette affirmation extra-scientifique risquerait d'être un jour démenti par des mesures plus précises. Tout ce qu'on peut tirer de la loi, telle que nous

(1) L'oubli de ce point essentiel et l'énoncé métaphysique qui résulte de la seule suppression du mot *simple* ont fait dire beaucoup de choses inexactes au sujet de cette loi. On connaît le thème : Comment vérifier directement que des rapports sont rationnels ? La loi n'est donc pas tirée de l'observation directe, mais est un principe abstrait vérifié par ses conséquences, une théorie. Presque tous les ouvrages modernes tombent dans cette erreur.

venons de l'exprimer, loi approchée comme toutes les lois physiques, est au contraire définitivement acquis.

Il y a, il est vrai, des faces pour lesquelles les caractéristiques ne sont plus des nombres entiers remarquablement simples. Et cela ne saurait surprendre, puisque la limitation fréquente des cristaux par des surfaces courbes montre assez que les formes extérieures ne sont pas nécessairement limitées par des plans, ni *a fortiori* par les plans à caractéristiques simples. Pour ces formes-là, la loi expérimentale *disparaît*. Dès que les caractéristiques fournies par l'observation peuvent être, sans sortir des limites des incertitudes de mesures, représentées indifféremment par plusieurs groupes de nombres entiers qui soient du même ordre de grandeur, la loi de rationalité s'efface complètement. Si l'on continue alors à adopter des caractéristiques entières, c'est par suite d'une pure convention et par assimilation avec les cas remarquablement nombreux où les caractéristiques entières s'imposent *parce qu'elles sont simples*.

Tel est le sens de la loi des troncatures rationnelles simples, remarquablement comparable à la loi des proportions multiples *simples* en Chimie.

Sous cette forme, la loi d'Hat'y laisse assez indéterminé le choix du système de coordonnées, c'est-à-dire le choix des axes et paramètres auxquels on rapporte les caractéristiques. La seule condition à laquelle ce choix est soumis est que les caractéristiques de la plupart des plans connus par les propriétés discontinues soient des entiers assez petits pour que la loi reste mise en évidence. Cette condition-là est essentielle; tout choix des axes et paramètres qui n'y répondrait pas est inacceptable, parce qu'il n'exprimerait pas la loi qui, seule, justifie l'emploi des caractéristiques entières, savoir la loi des troncatures rationnelles *simples*. Mais cette condition, bien qu'essentielle et trop souvent oubliée aujourd'hui, n'est

pas suffisante pour fixer le choix des axes et paramètres. Plusieurs solutions restent toujours possibles. Car la simplicité d'un ensemble de rapports rationnels n'est pas, par elle-même, définie d'une manière précise.

Cette forme purement arithmétique de la loi, bien qu'universellement adoptée, est très peu satisfaisante. Il n'est pas douteux que c'est elle, c'est-à-dire une simple convention de langage mal choisie au début, puis indéfiniment répétée sans examen, qui empêche actuellement la plupart des cristallographes de saisir le véritable sens physique de la loi d'Haüy et d'apercevoir les faits plus précis dont elle n'est qu'une expression défectueuse et vague. De nombreuses tentatives ont été faites dans ces dernières années, à l'étranger, pour préciser la loi, soit sous cette forme de la simplicité des caractéristiques, soit sous la forme encore plus défectueuse de la loi des zones. Ces tentatives ont leur intérêt, en ce qu'elles laissent entrevoir, par les remarques plus ou moins générales faites sur les valeurs des caractéristiques des diverses formes d'un cristal, que la simplicité n'est pas la seule loi qui régit ces caractéristiques. Elles font sentir très nettement qu'il y a autre chose. Mais cette « autre chose » reste vague et s'exprime par un jeu de chiffres incapable de conduire à aucune interprétation physique.

Tout autre serait certainement l'état actuel de la Cristallographie si dès l'origine Haüy ou ses successeurs immédiats, au lieu d'employer pour énoncer la loi ce détour arithmétique des décroissements entiers ou des caractéristiques, s'étaient servis, *pour exprimer exactement les mêmes faits*, de la tournure de langage géométrique suivante :

Les directions de plans qui se manifestent dans un cristal homogène par les propriétés vectorielles discontinues sont parmi les directions de plans réticulaires d'un certain réseau de parallélépipèdes dont l'aire réticulaire est petite.

Haüy sentait bien que sa loi des décroissements entiers simples était exactement équivalente à celle-là; si bien que tout en se contentant habituellement de déterminer les formes primitives par les décroissements (caractéristiques) simples, et en se préoccupant avant tout de donner aux clivages les caractéristiques les plus simples, il lui est arrivé plusieurs fois, ainsi que je l'ai rappelé naguère, de se préoccuper aussi de donner aux plans les plus importants des aires réticulaires minima.

Ainsi exprimée, la loi d'Haüy reste exactement la même, elle rend compte des mêmes faits; cette seconde forme n'ajoute ni ne retranche rien à ce qu'exprimait la première. Elle ne détermine pas le réseau qu'elle invoque plus que ne le fait l'autre expression pour le système d'axes et de paramètres qu'elle implique. Dans un réseau construit sur un système d'axes et de paramètres satisfaisant à la première forme de la loi, les plans que mettent en évidence les propriétés discontinues du cristal ont non seulement des caractéristiques entières simples, mais en même temps des aires réticulaires qui sont parmi les plus petites que comporte ce réseau. Car si p , q , r sont les caractéristiques d'un plan dans un tel système d'axes et de paramètres, son aire réticulaire dans le réseau construit sur ces axes et paramètres est donnée par une expression de la forme

$$S^2 = Ap^2 + Bq^2 + Cr^2 + Dpq + Eqr + Frp,$$

où A , B , C , D , E , F sont des constantes pour chaque espèce cristalline.

D'où il suit que les groupes de caractéristiques qui ne contiennent que de petits nombres entiers correspondent aussi à des valeurs de S qui sont parmi les plus petites.

Tant que la loi garde le sens imprécis de la « loi des tronçures rationnelles », les deux formes sont strictement équiva-

lentes. C'est une pure affaire de tournure d'esprit que de préférer l'une à l'autre; c'est, pour ainsi dire, une pure affaire de hasard, de malchance, que la première forme ait été adoptée au début plutôt que la seconde, pour être ensuite perpétuée par l'enseignement. Et cependant c'est ce choix de mots malheureux, semblant au premier abord sans importance, qui masque encore aux yeux des cristallographes les faits que nous allons exposer, ou les empêche d'en saisir la portée.

Lorsque, exprimant la loi sous la forme de la simplicité des caractéristiques, on a voulu chercher s'il serait possible de lui donner un sens plus précis, on a été naturellement conduit à le faire en examinant ces nombres. On a remarqué d'abord que, d'une manière générale, les plans qui sont le plus souvent et le plus largement développés dans les formes extérieures, ou qui se montrent les plus importants, comme clivages, plans de macle, etc., peuvent être affectés des caractéristiques qui, d'une manière frappante, sont les plus simples. C'est en partie une tautologie, car pour définir les axes et paramètres on commence par donner arbitrairement à quatre de ces plans les caractéristiques les plus simples possibles. Mais c'est aussi une loi physique, car dans une foule de cas, ces quatre plans ainsi choisis, la remarque reste vraie pour les autres. Seulement c'est une loi qui reste vague. Elle apparaît bien comme l'expression d'un fait, mais une expression défectueuse, mal adaptée au fait, et telle qu'on ne voit pas bien dans quel sens elle pourrait être perfectionnée. Comment préciser la simplicité de groupes de trois nombres entiers? Des groupes (111), (110), (210), quel est le plus *simple*? Bien plus, des groupes (110), (101), (011), qui souvent correspondent nécessairement à des plans d'importance excessivement inégale, quel est le plus simple? On peut assurément imaginer des définitions, et l'on en a

imaginé. On le peut si bien que la loi de Bravais, que nous nous proposons de mettre en évidence, n'est, si l'on veut, que cela. La démontrer consistera en somme à faire voir qu'il y a intérêt, pour donner à la loi d'Haüy une beaucoup plus grande précision, à définir, à mesurer la simplicité du groupe de caractéristiques p, q, r par la grandeur de l'expression S^2 donnée ci-dessus, $A, B, C, \dots$ étant des coefficients propres au cristal et convenablement définis en fonction des angles des axes et des paramètres. Mais la seule considération des caractéristiques entières n'aurait jamais conduit à cette expression, qui, en fonction des caractéristiques, est beaucoup trop compliquée pour se présenter à l'esprit. Ce qu'on a cherché, ce qu'on devait fatalement chercher dans la voie des combinaisons de caractéristiques, c'est à mieux définir la simplicité de ces nombres par telle ou telle fonction linéaire à coefficients entiers de ces nombres.

C'est dans les pays allemands surtout que ce genre de recherches a été en honneur dans ces derniers temps. La forme « loi des zones » de la loi d'Haüy y poussait naturellement. Car on sait que les caractéristiques d'un plan en zone avec deux autres sont une même fonction linéaire à coefficients entiers des caractéristiques correspondantes de ces deux plans. Combiner les caractéristiques de cette manière, c'était mettre en évidence le rôle des zones. De là sont sortis par exemple la « loi de la complication » de Goldschmidt, le procédé de détermination des axes et paramètres de Fedorow, les remarques de Baumhauer. Toutes ces combinaisons contiennent du vrai, conduisent souvent à des observations intéressantes ; elles sont, on le sent bien, des reflets de quelque chose d'existant, d'une véritable loi physique, mais des reflets déformés. La loi est soupçonnée, mais reste embrumée dans des définitions dont le caractère arbitraire et peu satisfaisant saute aux yeux.

Exemple : la *loi de la complication* de Goldschmidt consiste en cette remarque que les formes existantes dans les cristaux dérivent souvent les unes des autres par simple addition des caractéristiques correspondantes. Cela revient à dire que, lorsque deux formes existent dans un cristal, souvent la forme qui est *tangente* sur leur arête existe également. Car on sait que la face tangente sur l'arête de deux autres (p, q, r) , (p', q', r') , a pour caractéristiques $(p + p', q + q', r + r')$. C'est là un résultat immédiat de la loi de Bravais, mais ce n'est qu'un des aspects partiels de cette loi, et présenté sous une forme purement arithmétique qui ôte à cette remarque toute signification physique.

Autre exemple : Baumhauer remarque dans les zones riches en formes de beaucoup d'espèces cristallines certaines lois dans la répartition des caractéristiques de ces formes. Il observe par exemple dans la zone $(11m)$ du soufre orthorhombique l'importance prépondérante des formes pour lesquelles m est impair, (111) , (113) , (115) , (117) , (119) , et de même dans la zone $(11m)$ de l'anatase. Et il rattache ces remarques, et d'autres du même genre, à la *loi de la complication* de Goldschmidt. En fait, c'est là encore un ensemble de remarques qui ne sont que des aspects partiels de la loi de Bravais, des expressions purement arithmétiques et surtout incomplètes de cette loi.

Dans les deux exemples précités, la prépondérance des formes $(11m)$ où m est impair s'exprime, en vertu de la loi de Bravais et en même temps que beaucoup d'autres faits relatifs aux autres formes du soufre et de l'anatase, par cette simple notion : *les réseaux du soufre et de l'anatase sont du mode octaédral*.

On sait alors immédiatement que les formes dont toutes les caractéristiques sont impaires ont une aire réticulaire moitié moindre qu'elles ne l'auraient dans le mode hexaédral,

tandis qu'il n'en est pas de même de celles dont une au moins des caractéristiques est paire. Les premières sont donc plus importantes. De même, la prépondérance des formes (113), (115), (117), etc., sur (311), (131), (511), (151), etc., tient à ce que le paramètre vertical c est beaucoup plus grand, dans les deux espèces, que les paramètres a et b . Et ainsi de suite. On peut en dire autant de toutes les combinaisons de chiffres dont l'école allemande a tenté de tirer des lois. Elles se ramènent toutes purement et simplement à la loi de Bravais, dont elles ne sont que des conséquences immédiates.

Supposons, au contraire que le hasard ait voulu que les fondateurs de la Cristallographie se fussent servis, pour exprimer la loi d'Haüy, de la forme géométrique, exactement équivalente, que nous avons donnée ci-dessus. Les caractéristiques n'intervenaient plus, si ce n'est comme instrument de notation et de calculs. Dans chaque plan révélé par les propriétés discontinues, ce qui eût paru alors intéressant à considérer, ce n'était pas ce groupe de trois nombres, c'était l'aire réticulaire du plan. Et nécessairement, en cherchant à préciser la loi, on devait se dire ceci : puisque la nature choisit les directions de plans que manifestent les propriétés discontinues *parmi* les plans réticulaires dont l'aire est petite, c'est donc que, dans une certaine mesure que la loi d'Haüy laisse d'ailleurs vague, l'importance d'un plan dans les propriétés discontinues est fonction de son aire réticulaire. Dans une certaine mesure, un plan est d'autant plus important que son aire est plus petite. D'où, nécessairement, cette question : la loi ne serait-elle pas plus précise ? Un plan ne serait-il pas, tout simplement, d'autant plus important dans les propriétés discontinues que son aire réticulaire est plus petite, le réseau étant convenablement choisi ?

Cette question n'est plus de l'ordre de celles auxquelles conduit la considération des caractéristiques. Elle a un sens

parfaitement net. Elle n'a pas besoin d'être précisée par des combinaisons de chiffres arbitraires. Si l'observation confirme une telle loi, elle sera le perfectionnement naturel, le prolongement de la loi d'Haüy, qu'elle *englobera et remplacera*. Ainsi aurait-on été conduit, dès l'origine, à la loi de Bravais, qui semblerait aujourd'hui la chose du monde la plus naturelle et la plus évidente, la forme la plus claire et la plus riche en même temps de la loi physique qui est à la base de la Cristallographie, et l'on ne songerait pas à voir dans cette loi autre chose qu'une loi d'observation ni quelque chose de distinct de la loi d'Haüy. On ne s'étonnerait pas plus de voir déterminer les réseaux par la loi de Bravais, en exprimant ainsi une foule de faits que la loi d'Haüy laisse dans l'ombre, que l'on ne s'étonne de voir déterminer les paramètres par la simplicité des caractéristiques.

Rien n'est plus singulier et ne révèle mieux l'étrange philosophie scientifique régnante que le genre d'objections faites dans tous les Ouvrages récents à cette loi. Je ne parle pas de ceux qui, sans autre examen, relèvent simplement quelques exceptions, et concluent, de ce que la loi ne se vérifie pas toujours, qu'elle n'existe pas. Ce sont les mêmes qui traitent avec dédain la loi d'Haüy de « loi empirique » et prétendent lui substituer une loi « rationnelle » tirée de raisonnements *a priori*. Ces savants oublient qu'une telle argumentation ne laisserait rien subsister d'aucune des lois de la Physique et de la Chimie. Mais du moins restent-ils sur le terrain des faits. Du moins sera-t-il facile de leur rappeler qu'aucune loi physique n'est jamais qu'approximative, tant que la métaphysique ne s'en est pas emparée au détriment de la science positive, qui a beaucoup à perdre et rien à gagner à cette collaboration; et qu'aucune loi physique n'est sans exceptions, mais qu'à la base de chacune se pose toujours une question de probabilité qui est la suivante : les faits conformes à la loi

sont-ils assez nombreux, assez remarquables pour que leur conformité à la loi ne puisse passer pour *fait de hasard*? Et par suite les exceptions, qui ne manquent jamais, sont-elles négligeables dans une première approximation? Si oui, la loi vaut d'être exprimée, en d'autres termes elle existe. Elle n'est, pas plus qu'aucune loi physique, l'expression strictement adéquate d'une loi de la nature. Mais elle exprime, en langage humain, langage ordinaire ou langage mathématique, quelque chose qu'invinciblement nous sentons correspondre à un ordre existant dans les faits, à une loi existante dont l'expression stricte restera vraisemblablement toujours inaccessible à ce langage.

Cette question de probabilité, aucune règle ni aucun raisonnement quelconques ne sauraient servir à la résoudre. Ce n'est pas une question de calcul de probabilités, mais de définition de la probabilité. Elle reste livrée à l'appréciation personnelle de chacun. Tout ce qu'on peut faire pour démontrer une loi d'observation, c'est de présenter les faits. Chacun reste libre d'apprécier si la concordance d'une partie d'entre eux avec la loi peut ou non passer pour fait de hasard, et si les exceptions sont suffisantes pour détruire l'intérêt de la loi, ou si, au contraire, elles sont à mettre provisoirement de côté pour servir plus tard, si possible, à édifier une théorie par la combinaison de plusieurs lois, ou encore à découvrir à cette loi une forme meilleure, plus générale et qui les englobe.

Il va de soi qu'il y a tous les degrés entre des lois très générales, très riches, ne présentant que peu d'exceptions et dont les exceptions connues ont été facilement réduites à d'autres lois, en sorte qu'elles se sont imposées à tous, et les lois les plus vaguement indiquées et les plus douteuses. Mais il serait absurde d'objecter à une loi physique qu'elle présente des exceptions, sans vouloir regarder autre chose que

ces exceptions. La queue des comètes, l'aimant, suivent-ils la loi de l'attraction universelle, et celle-ci perd-elle, de ce fait, rien de son intérêt? La loi des troncatures rationnelles simples, telle que l'admettent tous les cristallographes, présente, elle aussi, d'innombrables exceptions : ce sont tous les cas de surfaces courbes, même dans les cristaux parfaitement homogènes, et ceux de faces planes dont les caractéristiques ne sont pas simples, en sorte qu'on n'a plus aucune raison de les considérer comme rationnelles. Ces cas sont très nombreux, et cela n'empêche nullement la loi d'apparaître avec une évidence éclatante.

L'autre catégorie d'objections est plus étonnante encore et plus instructive. Elle dérive d'une compréhension surannée du rôle et de la valeur des théories, et des illusions créées de toutes pièces par l'abus du langage moléculaire. Il faut reconnaître que Bravais, puis Mallard ont donné à ce sujet le mauvais exemple, sur lequel ont renchéri ensuite, en aggravant la confusion, tous les théoriciens allemands. Le principe est le suivant :

Établir *d'abord* une théorie de la structure, qui se présente comme basée sur rien ou presque rien. Chez Bravais, cette frêle base réside dans la double supposition que voici : dans les cristaux les *molécules* sont parallèles, cela résulte comme une chose *probable* de l'anisotropie, et en second lieu elles sont équidistantes et disposées en rangées, cela résulte comme une chose *probable* de l'existence d'arêtes rectilignes, faces et clivages plans, etc. Chez Mallard, la fragilité du soubassement de l'édifice est plus grande encore ; l'existence même des propriétés discontinues y disparaît. L'hypothèse réticulaire se contente pour base de l'anisotropie et de l'homogénéité, c'est-à-dire de propriétés qui n'ont rien de spécial aux cristaux. Tant qu'on n'introduit pas la loi des troncatures rationnelles, il est aisé de voir que ces suppositions ne sont

étayées sur rien et que la structure réticulaire n'est admise que pour aboutir à cette loi, introduite implicitement à la base de l'hypothèse. Mais cette loi de pure expérience, on la dissimule d'abord. On essaie vainement de baser l'hypothèse sur tels ou tels autres faits qui ne la justifient nullement (1). On fait de cette hypothèse une sorte de divination, prétendant atteindre dans la structure de la matière on ne sait quelle *réalité*. Puis, l'hypothèse ainsi sommairement admise, on en déduit victorieusement la loi d'Haüy, qu'on y avait réellement introduite au début. La loi n'est plus alors une pauvre loi *empirique*, elle devient loi *rationnelle*. Après qu'elle a passé par ce cycle de métamorphoses elle est, pour certains savants, consacrée comme une sorte de loi nécessaire, absolue et rigoureuse.

Mais comment, de l'hypothèse réticulaire, déduire la loi des troncatures rationnelles qu'on y a enfouie? Cette difficulté, on l'eût évitée en mettant la loi d'observation à sa place, c'est-à-dire ouvertement à la base, et l'hypothèse à sa place aussi, c'est-à-dire après les faits qui l'ont occasionnée, comme une image destinée à les réunir.

Mais voilà l'hypothèse dressée et la loi d'observation dissimulée sous elle; il faut l'en faire sortir. Comment, de ce que la matière est supposée périodique, de ce qu'on a réussi, en glissant sur les difficultés, à y installer un réseau, comment

(1) Mallard, après avoir cru pouvoir tirer, par un raisonnement dont l'inexactitude est aujourd'hui évidente, la structure réticulaire de l'homogénéité, ajoute ceci qui montre combien complète était l'illusion qu'il se faisait à ce sujet : « Cette conclusion est entièrement indépendante de toute hypothèse sur la constitution intérieure de la matière; elle se déduit rationnellement des données expérimentales les plus simples qui nous conduisent à la notion de l'homogénéité des corps solides. Elle peut donc servir à l'édification d'une science qui sera rationnelle au même titre que l'est la Mécanique, déduite tout entière de la notion de masse. » (*Traité de Cristallographie*, t. I, p. 10.)

va-t-on pouvoir conclure qu'un tel milieu a des propriétés vectorielles discontinues et qui répondent à la loi d'Haüy ? C'est là qu'interviennent les raisonnements sur les actions réciproques des molécules. L'enchaînement est nécessaire. Et que de grands esprits comme Bravais et Mallard n'aient pas été arrêtés, à ce point de leurs théories, par le vide de semblables raisonnements, qu'ils ne se soient pas retournés à ce moment pour reviser leurs prémisses et aient consenti à édifier la Cristallographie sur une pareille base, c'est un bel exemple à méditer pour la philosophie des Sciences.

Quoi qu'il en soit, pour raisonner sur les actions des molécules, il fallait leur donner une forme. Si Bravais avait suivi la seule voie « rationnelle », qui consiste à mettre les prémisses expérimentales à la base et la théorie au couronnement de l'édifice, toute hypothèse particulière sur les molécules lui eût été complètement inutile. Aucun des faits qu'il invoque ne conduit à la moindre hypothèse sur ces molécules ni même à la discontinuité de la matière, mais seulement à la notion de réseau, c'est-à-dire de la périodicité du milieu cristallin. La constitution interne de cette période reste, en réalité, complètement indifférente tant qu'on n'invoque que l'existence des propriétés discontinues, la loi d'Haüy, les symétries cristallines, les macles, comme le faisait Bravais. Aussi bien, c'est cette périodicité qui apparaît avec raison à Bravais comme le point important de sa théorie. C'est comme en passant, et parce que c'est l'hypothèse la plus simple, qu'aucun des faits envisagés ne l'oblige à compliquer davantage, qu'il convient de concentrer la matière de chaque maille en une seule molécule, qu'il identifie d'ailleurs sans raison donnée avec la molécule chimique. Par définition, toutes les mailles sont identiques. Ainsi conçues, les molécules sont donc identiques, équidistantes et parallèles entre elles. Mallard admet la même chose au début de son *Traité de Cris-*

tallographie, comme une convention de langage indifférente ⁽¹⁾. Il s'abstient seulement de spécifier que sa molécule ne contient qu'une molécule chimique. Mais il ne s'aperçoit pas que cette convention restrictive et inutile du « polyèdre moléculaire », loin d'être indifférente, va introduire toutes sortes d'ambiguïtés, notamment dans la question de la mériédrie; qu'elle va permettre toutes sortes de raisonnements moléculaires qui n'auraient aucun sens sans elle et qui, lorsque plus tard la convention sera abandonnée pour expliquer les faits du polymorphisme, tomberont avec elle. Quoi qu'il en soit, une molécule étant ainsi établie dans chaque maille, tous les raisonnements sur les actions de ces molécules devront tendre à montrer que les plans réticulaires, où les molécules sont plus serrées, sont des plans de cohésion maximum, et que ces plans *doivent* être ceux que suivent les formes extérieures, clivages, etc. Il est inutile aujourd'hui, je pense, de rappeler en détail ces raisonnements pour montrer qu'ils sont illusoire.

Lorsque plus tard Bravais lui-même, pour rendre compte de la symétrie du quartz, puis surtout Mallard pour rendre compte des transformations paramorphiques (polymorphiques directes de M. Wyruboff), auront besoin de scinder la matière de la maille en plusieurs molécules non parallèles, ils reconnaîtront par là que leurs raisonnements sur les plans de cohésion maximum étaient sans valeur. Par exemple, en ce qui concerne les clivages :

Mallard admet, et c'est en effet une image parfaitement adaptée aux faits, que dans les transformations paramorphiques la distribution des particules reste la même, alors que la distribution de leurs orientations change. Il distingue ainsi,

(1) *Traité de Cristallographie*, t. I, p. 10.

quoique sans montrer peut-être avec assez de netteté la différence des deux notions, d'une part un réseau des centres des particules identiques quelles que soient leurs orientations (c'est ce que j'ai appelé le réseau matériel), réseau fixe dans le cristal et qui n'exprime que la distribution d'un seul point de ces particules, conventionnellement appelé leur centre de gravité, et d'autre part le réseau cristallin, qui est nécessairement un réseau de parallélépipèdes, et qui est la *période* du milieu exprimant la distribution de tous les points identiques à un point *quelconque* de la masse, par exemple celle des centres des molécules parallèles et que rien ne distingue entre elles. Ce dernier réseau est commun à *toutes* les théories de la structure, depuis Haüy jusqu'à Schœnflies. Il est l'expression de la loi d'Haüy et de la loi de rationalité des paramètres symétriques. Le premier au contraire est une hypothèse nouvelle, introduite par Mallard pour rendre compte seulement du polymorphisme. Et la théorie de Mallard sur ce point est celle-ci : le réseau matériel des centres des molécules est un multiple (ou sous-multiple, ce qui revient au même) du réseau cristallin. C'est-à-dire qu'il a mêmes plans réticulaires. Les molécules dont il exprime la répartition ne sont pas en général parallèles entre elles. Mais, le milieu étant avant tout périodique, on y retrouve de distance en distance des molécules parallèles, et leur répartition est exprimée par un réseau de parallélépipèdes (période, groupe de translations) qui est le réseau cristallin. Dans la transformation paramorphique le réseau matériel reste constant, sauf de légères déformations, et tout se réduit à des rotations de molécules avec changement complet, en général, du réseau cristallin. Ici la molécule n'est plus celle de Bravais, n'est plus le polyèdre moléculaire de Mallard. La matière de la maille, de la période cristalline n'est plus condensée en un seul paquet, mais dispersée en plusieurs supposés identiques.

et diversement orientés, répartis aux sommets d'un réseau qui est un sous-multiple du réseau cristallin. Si donc les raisonnements sur la cohésion maximum dans les plans où la densité des molécules est maximum ont une valeur, c'est au réseau matériel qu'ils devront s'appliquer, non au réseau cristallin. Les deux formes paramorphiques, qui ont même réseau matériel, même distribution des molécules, devront avoir mêmes clivages et en général mêmes formes extérieures, mêmes propriétés discontinues quelconques. On sait qu'il n'en est rien. Bien au contraire, Mallard n'a édifié sa théorie que pour rendre compte de ce fait que, tout en ayant des réseaux multiples simples l'un de l'autre, les deux formes paramorphiques ont, en même temps que des symétries différentes, des clivages différents et en général des propriétés discontinues différentes. C'est donc qu'il attribue maintenant la détermination des clivages et autres propriétés discontinues non au réseau matériel, qui est le même dans les deux formes, mais au réseau cristallin, qui est différent pour chacune d'elles. Il est par là en contradiction avec les raisonnements par lesquels il pensait justifier l'existence des plans de clivage, par exemple, par la densité plus grande de la répartition des molécules dans ces plans. En fait, c'est avec cette théorie du polymorphisme que Mallard est dans le vrai. Car il l'imagine non comme un édifice rationnel *a priori*, mais pour exprimer des faits. Et s'il contredit par là ses raisonnements sur les actions mécaniques réciproques des particules, il a raison de ne pas s'en inquiéter à ce moment. On peut s'étonner seulement que cela ne lui ait pas ouvert les yeux sur leur fragilité, et par suite sur celle de tout l'édifice de sa Cristallographie rationnelle.

Bravais et Mallard, par la nécessité où les plaçait leur méthode d'exposition défectueuse, et par leur première hypothèse posée *a priori*, sans justification, du polyèdre molécu-

laire unique dans chaque maille, arrivaient ainsi à tirer de l'hypothèse réticulaire, non seulement la loi d'Haüy, mais cette loi plus précise que les plans que mettent en évidence les propriétés discontinues *doivent* être d'autant plus importants que les molécules y sont plus condensées. C'est la loi de Bravais. Mais ils n'envisageaient pas cette loi comme une loi d'observation. C'était une loi rationnelle, censée établie par des raisonnements, une sorte de loi nécessaire tirée de la logique et non de la nature. Rien n'est plus philosophiquement instructif que de relire aujourd'hui le chapitre où Mallard, poussant beaucoup plus loin que Bravais la hardiesse des raisonnements *a priori*, expose la prétendue nécessité de cette loi (*Cristallographie*, t. I, p. 301 et suivantes). Nous venons de voir comment il a d'ailleurs contredit plus tard ces raisonnements par sa théorie du polymorphisme. Il ne recourt à l'observation qu'après coup, après avoir démontré la nécessité logique de la loi, après avoir prévu qu'elle présentera des exceptions, et à titre de simple vérification. « Les faits contraires à la loi ne feront pas douter de l'exactitude de celle-ci », dit-il. Et il n'entend pas dire simplement par là que la loi présente des exceptions, comme toutes les lois, mais bien que, si l'observation infirmait la loi entièrement, elle n'en serait pas pour cela moins certaine, mais seulement masquée par autre chose, qui est la « forme » du polyèdre moléculaire.

Ainsi présentée, la loi ne pouvait qu'éveiller beaucoup de défiances. Elle s'offrait non comme une loi tirée de l'observation et dont toute théorie aurait eu à l'avenir à tenir compte, mais comme une conséquence, déduite par des raisonnements plus qu'incertains, d'une théorie particulière de la structure, celle du polyèdre moléculaire unique dans chaque maille, théorie avancée d'ailleurs sans justification quelconque. Bravais, puis Mallard, avaient bien tenté quelques

vérifications, mais comme sans conviction, à titre d'exemples choisis. Mallard lui-même semblait avoir si peu de confiance dans ses raisonnements, qu'il les abandonnait pour la théorie du polymorphisme; qu'il n'hésitait pas, dans ses considérations sur la pseudo-cubicité de tous les réseaux, dans ses théories sur la pseudo-symétrie et sur les macles, à multiplier les paramètres qu'eût déterminés la loi de Bravais par des coefficients arbitraires; et qu'en fait il n'utilisa jamais les quelques réseaux qu'il avait déterminés par la loi de Bravais.

A ma connaissance, tous les écrivains qui ont eu à parler de la loi de Bravais se sont maintenus à son égard sur le même terrain que les auteurs de cette loi. En Allemagne notamment, on ne songe même pas en général à se demander si la loi de Bravais est une loi d'observation, une forme de la loi d'Haüy, d'où découlerait *ensuite* la périodicité du milieu cristallin. On établit *a priori*, en partant de la loi d'Haüy, ou même le plus souvent en se figurant se passer de cet accessoire, une théorie de la structure, mathématiquement fort longue et fort rébarbative, mais qui n'est rien de plus, comme théorie physique, que la théorie de la périodicité d'Haüy, de Delafosse, de Bravais et de Mallard, et qui n'est comme elles que l'expression des deux lois fondamentales de la Cristallographie, savoir la loi des troncatures rationnelles simples et la loi de rationalité des paramètres symétriques. A la périodicité, la théorie de Schœnflies, qui est le type le plus complet du genre, n'ajoute rien. Elle consiste au contraire à ne faire aucune hypothèse sur le remplissage de la période cristalline, et à chercher seulement toutes les manières de découper celle-ci, quand il existe une symétrie dans le milieu cristallin, en petits domaines (fondamentaux) identiques ou symétriques. C'est la théorie du milieu cristallin supposé continu. Toutes les hypothèses imaginables sur le milieu cris-

tallin périodique discontinu n'en peuvent être que des cas particuliers. C'est une théorie complète des symétries du milieu périodique, et complète précisément en ce sens qu'elle ne fait aucune hypothèse sur la répartition de la matière dans le domaine fondamental. Je fais abstraction ici de l'idée (de Schœnflies) de molécules asymétriques appartenant chacune à un domaine fondamental et dont il existerait par suite, dans le cas général, deux sortes symétriques non superposables; ce n'est là qu'un accessoire inutile, d'ordre purement mathématique, qui n'ajoute rien à la considération du domaine fondamental et n'exprime aucun fait physique; cette molécule est une molécule de mathématicien, la plus générale qu'on puisse concevoir; mais rien n'empêche le physicien de réunir en une seule molécule symétrique plusieurs des molécules asymétriques de Schœnflies, comme aussi bien d'en placer un nombre quelconque dans chaque domaine fondamental. Rien n'est donc plus oiseux que l'opposition qu'on croit voir, non seulement en Allemagne, mais parfois même chez nous, entre la théorie réticulaire et les « théories de la structure » comme celle de Schœnflies, *qui non seulement ne sauraient la contredire, mais ne lui ajoutent absolument rien*. Toutes sont identiques sur le point fondamental, qui est la périodicité, de quelque nom que l'on désigne la forme de la période (paramètres de la maille, groupe de translations) et l'élément périodiquement réparti (molécule cristallographique, motif, domaine complexe). Schœnflies supprime l'hypothèse de la particule unique dans chaque domaine complexe, qui suffisait à Bravais pour ce qu'il avait à exprimer; et il est vrai que, comme l'a montré Mallard, cette hypothèse ne suffit pas pour rendre compte des faits du polymorphisme. Mais Schœnflies ne la remplace par aucune autre. Il ne cherche, quant à lui, à exprimer aucun fait, et laisse aux physiciens la possibilité de réunir à leur gré en une seule,

pour exprimer tel ou tel fait; plusieurs des particules qu'il met dans chacun de ses domaines fondamentaux (exemple : la théorie du réseau matériel); il les laisse libres de répartir ces molécules, moyennant certaines conditions d'ailleurs excessivement larges, dans le domaine complexe.

C'est une singulière illusion que de voir là une théorie physique nouvelle qui puisse être, en quoi que ce soit, en opposition avec la simple théorie réticulaire ou qui puisse passer, au point de vue physique, pour un perfectionnement de cette théorie. La théorie de la particule unique dans chaque maille, qui suffit à Bravais et que Mallard adopta d'abord, est une théorie physique ajoutée à la théorie réticulaire; inutile il est vrai en son temps et insuffisante aujourd'hui, mais c'en est une. La théorie des particules non parallèles ayant une certaine symétrie, réparties aux sommets d'un réseau matériel sous-multiple du réseau cristallin, que Mallard adopta ensuite pour rendre compte du polymorphisme, est une théorie physique, utile celle-là, parce qu'elle exprime des faits. Mais la théorie de Schœnflies, sauf en ce qui concerne la périodicité qui est commune à toutes les théories, n'est pas une théorie physique. Elle est tout ce que le mathématicien peut dire de plus général sur un milieu dont il ne sait rien, si ce n'est qu'il est périodique. Cela est fort volumineux, mais n'ajoute rien à ce qui ressort directement de la simple périodicité, c'est-à-dire du réseau.

Malgré tout, l'illusion existe. La Cristallographie croit posséder, dans la « théorie de la structure », quelque chose de plus que la vieille idée de périodicité de Delafosse, si ce n'est d'Haüy. Et alors, l'objection à la loi de Bravais se formule ainsi : La loi de Bravais était présentée comme une conséquence logique de l'hypothèse de la particule unique dans chaque domaine complexe. Puisque la « théorie de la structure » n'exige plus cette particule unique, mais répartit (ou

plutôt permet de répartir) la matière en molécules non parallèles, non identiques même si l'on veut, dans tout ce domaine, puisqu'elle permet même de supposer la matière continue, les raisonnements de Bravais et de Mallard tombent. Il n'y a donc plus de raison pour que la loi soit vraie. Et la cause est entendue.

Cette exécution sommaire, si elle n'était qu'une critique adressée à la méthode suivie par les auteurs de la loi, serait parfaitement juste. Mais elle a le tort d'être prise pour une critique de la loi elle-même, ce qui est tout différent. La question qui se pose n'est pas de savoir si les raisonnements que l'on a malencontreusement donnés pour point d'appui à la loi sont valables ou non, sont conformes ou non à telle ou telle théorie. Car il n'est pas de théorie et de raisonnements qui puissent prévaloir contre une loi d'observation. La seule question est de savoir si la loi existe, si l'observation l'établit avec évidence. Si non, elle sera sans valeur quelque haute idée qu'on se fasse, avec les savants du siècle passé, des raisonnements *a priori*. Si oui, elle sera vraie quels que soient les détours plus ou moins malheureux que ses auteurs aient employés pour la faire connaître. Et toute théorie devra s'y plier. C'est uniquement à ce point de vue que nous nous placerons.

Nous nous proposons de montrer, par la seule observation des faits, sans aucune espèce de théorie, qu'il y a avantage, pour exprimer un grand nombre de faits dont la loi d'Haüy, prise dans son sens habituel de loi des troncatures rationnelles simples, ne rend pas compte, à remplacer cette loi par la suivante, beaucoup plus riche, qui est la loi de Bravais :

L'importance des directions de plans qui se manifestent dans un cristal par les propriétés vectorielles discontinues est fonction avant tout de leur aire réticulaire dans un certain réseau de

parallélépipèdes. Elle est d'autant plus grande que cette aire est moindre.

D'autres facteurs influent aussi, mais leur influence est secondaire et jusqu'ici on ne sait absolument rien de général sur eux.

Remarques préalables :

1° Le réseau dont il est ici question, pas plus que celui que nous avons employé ci-dessus pour exprimer la loi d'Haüy, n'a aucun caractère de théorie physique. C'est un intermédiaire géométrique commode pour l'expression de la loi, rien de plus. Si l'observation confirme la loi, nous pourrions imaginer *ensuite*, à titre d'hypothèse et si cela peut être utile pour relier la loi à d'autres, que la matière cristalline est périodique et que ce réseau en figure la période. Mais la loi, si elle existe, ne saurait dépendre d'une théorie. Nous n'avons nul besoin de supposer au réseau une existence réelle dans le cristal. Je sais bien qu'interrogés directement sur ce point tous les savants d'aujourd'hui répondraient sans hésiter qu'une telle supposition est en effet inutile et sort du domaine de la Science. Il en est de même pour l'atome en Chimie. Mais beaucoup aussi, comme pour l'atome chimique, se comportent en fait comme s'ils croyaient à cette existence réelle et, selon l'inspiration du moment, déterminent, cherchent à atteindre ce réseau réel par mille moyens divers, souvent contradictoires et n'ayant aucun rapport avec les faits qui ont conduit à la notion de réseau.

2° L'importance d'un plan n'est pas quelque chose qui puisse se mesurer avec précision. Quand il s'agit des formes extérieures, l'importance d'un plan s'apprécie par la *fréquence* et par l'*étendue* de la face parallèle à ce plan, étant entendu que cette appréciation porte sur le plus grand nombre possible de cristaux formés dans les conditions les plus diverses. Nous savons que, pour la plupart des espèces, les formes

varient assez suivant les conditions de cristallisation. Nous savons aussi qu'on rencontre dans les formes des cristaux, comme dans leurs autres propriétés, des symétries qui ne peuvent être celles d'aucun réseau; elles sont dites *mérièdres*. Le réseau qu'invoque la loi de Bravais a d'abord nécessairement toute la symétrie des propriétés discontinues qu'il exprime; car deux faces que rien, physiquement, ne distingue entre elles, ne doivent différer en rien, par définition, comme plans réticulaires de ce réseau. Mais en outre, par le fait qu'il est un réseau de parallélépipèdes, soumis par suite à certaines conditions géométriques (telles que d'avoir toujours un centre, etc.), il a nécessairement, si la symétrie du cristal est mérièdre, des éléments de symétrie supplémentaires qui n'appartiennent pas au cristal. Il y a donc, dans un cristal à symétrie mérièdre, des plans qui ont même réseau plan, même aire réticulaire, et qui, cependant, peuvent n'avoir pas même importance physique. Si l'importance des formes dépendait de l'aire réticulaire seule, il pourrait bien y avoir des mérièdries, mais les propriétés discontinues ne les manifesteraient pas. Il pourrait y avoir des cristaux mérièdres, mais non des formes extérieures mérièdres.

Ces deux faits suffisent à rendre inutile toute tentative de mesure précise de l'importance relative des faces, et par suite à nous interdire aussi d'espérer trouver à la loi de Bravais un caractère de rigueur mathématique qu'elle ne saurait avoir. La loi, si on lui donnait à tort ce caractère de précision, signifierait ceci : Les formes extérieures d'un cristal ne sont fonction que des aires réticulaires; donnez-moi les paramètres d'un cristal, et je vous dirai quelles sont ses formes et leur développement relatif, je vous dessinerai le cristal. Nous verrons combien, dans une foule de cas, cela est voisin d'être vrai. Mais puisque les conditions de la cristallisation influent sur les formes, puisque aussi se mani-

festent dans ces formes des symétries qui ne sont celles d'aucun réseau, c'est donc que les formes ne dépendent pas du seul réseau. Aussi la loi de Bravais serait-elle détournée de son sens si on lui faisait dire que l'importance des formes dépend de l'aire réticulaire seule. Elle consiste seulement en ceci que l'importance des plans dépend nettement de l'aire réticulaire, et qu'elle dépend *surtout* de cette aire, avec une évidence telle que dans bien des cas c'est à peine si aucune autre influence se fait sentir. Pour que ce fait ressorte avec évidence, il n'est pas nécessaire que nous possédions un criterium absolu de l'ordre d'importance des plans comme formes, clivages, etc. Il suffit que la loi classe les formes dans un ordre qui concorde avec l'ordre d'importance *dans la mesure où celui-ci peut être apprécié par l'examen des cristaux*. Nous verrons que, pour que la loi apparaisse avec une parfaite netteté, la seule *existence* des formes sera déjà un criterium suffisant de leur importance.

3° Rappelons enfin que la plupart des auteurs considèrent le classement des formes par ordre de densités réticulaires non comme une loi physique mais comme une sorte de procédé de détermination *a posteriori* d'un réseau supposé existant en vertu de théories de la structure qui se croient basées sur autre chose. C'est là une erreur de méthode sur laquelle nous avons déjà insisté plus haut. Il importe cependant de bien préciser encore sur ce point notre idée directrice. Quand on indique aujourd'hui les paramètres d'un cristal, que veut-on dire? En d'autres termes, *que sait-on sur ce cristal une fois qu'on possède cette donnée?* Dans l'état actuel, à peu près rien.

La plupart des auteurs admettent encore au minimum, comme base de la détermination des paramètres, la simplicité des caractéristiques des principales faces. Il en est qui abandonnent même cela. Dans le premier cas et *a fortiori*

dans le second, les paramètres laissent presque complètement indéterminée *la seule chose qu'ils soient destinés à exprimer*, c'est-à-dire le faisceau des faces, clivages, etc., de l'espèce. On saura, par exemple, que si l'auteur qui a indiqué les paramètres a pris pour base, dans une mesure raisonnable, la simplicité des caractéristiques, les 10, 20, 30 formes connues dans l'espèce seront parmi les 200, 400 et plus dont les caractéristiques sont inférieures à une certaine limite, d'ailleurs mal déterminée. Si la simplicité des caractéristiques a été elle-même sacrifiée à d'autres considérations, cas de plus en plus fréquent aujourd'hui, ce sera souvent parmi plusieurs milliers de formes que seront noyées les quelques formes connues, sans qu'aucun criterium permette de les y retrouver. Donner de tels paramètres, c'est presque exactement *ne rien dire* sur le cristal. Ces paramètres, qui ne sont déterminés par les mesures qu'à un multiple près, ont été : 1° ou bien fixés par la recherche des caractéristiques les plus simples possibles pour les formes les plus importantes; cela laisse encore le faisceau des plans très peu déterminé, mais, du moins, l'est-il un peu, et c'est la moins mauvaise des méthodes suivies jusqu'ici; très souvent, tout en précisant davantage, la loi de Bravais sera d'accord avec elle; 2° ou bien ces paramètres ont été choisis parmi les multiples, d'après des considérations d'analogies entre espèces, analogies souvent forcées et trompeuses, ou d'après des idées plus ou moins précisées sur la pseudo-symétrie, d'après des théories sur les macles, etc. N'a-t-on pas été jusqu'à invoquer les propriétés optiques? Le tout forme un mélange tel que de l'indication des paramètres il ne ressort finalement aucun renseignement sérieux et précis sur l'espèce. Les anciens équivalents chimiques étaient quelque chose de bien plus défini que ne sont les paramètres de la Cristallographie actuelle. C'est là surtout un effet de cette erreur de principe

qui consiste à admettre d'abord l'existence réelle du réseau, puis à chercher dans une foule de phénomènes divers, selon les circonstances, des indications sur ce réseau. M. Mügge m'a reproché quelque part de vouloir déterminer le réseau par un critère unique (eindeutig). C'est là précisément ce qu'il me semble *indispensable* de faire. Car si l'on adopte, selon les circonstances, divers critères, ou bien, chose peu vraisemblable, ils seront d'accord dans tous les cas connus; alors l'un vaudra les autres, et par crainte des contradictions futures possibles il sera sage de n'en conserver qu'un comme définition; ou bien, ce qui a lieu en effet, ils seront contradictoires, et alors l'indication du réseau, des paramètres, sera sans valeur à moins de longues explications sur les idées du cristallographe qui les aura déterminés. Il faut, pour que les paramètres aient une signification, pour que le réseau qu'ils définissent représente quelque chose, s'efforcer de trouver un critère unique et de le choisir tel que ces paramètres synthétisent beaucoup de faits. S'il est tel que la seule indication des paramètres permette de retrouver immédiatement, au moins à peu de chose près et dans toute la mesure du possible, *la seule chose que ces paramètres soient destinés à résumer*, c'est-à-dire les directions et l'ordre d'importance physique des formes principales et clivages, ce critère sera bon et devra être adopté.

Mon but est de montrer qu'on dispose, dans la loi de Bravais, d'une forme de la loi fondamentale qui permet de déterminer les paramètres de telle façon qu'ils schématisent et permettent de retrouver, non toujours d'une façon absolue et sans erreur de détail, mais du moins avec infiniment plus de précision que tous ceux jusqu'ici en usage, le faisceau des plans qui interviennent dans les propriétés discontinues du cristal.

S'il se trouve ensuite que ce réseau, déterminé « *eindeutig* »

par la loi de Bravais, et qui aura ainsi par lui-même un sens et une utilité, est d'accord aussi avec d'autres phénomènes, permet de grouper d'autres faits, alors ces remarques nouvelles s'exprimeront sous forme de lois relatives aux liens entre ces phénomènes et *le réseau*. Et quand on dira *le réseau*, on saura ce qu'on veut dire, ce qui n'est pas du tout le cas aujourd'hui. Ces lois auront un sens précis, déterminé, alors qu'aujourd'hui elles restent forcément dans le vague, faute d'une définition du réseau. Je rappellerai, par exemple, les lois des macles, qui sont restées longtemps dans ce vague, et auxquelles on n'a pu donner une expression précise que grâce à la définition préalable du réseau par la loi de Bravais. De même pour la syncristallisation isomorphe; de même pour les transformations paramorphiques; de même partout. On ne peut exprimer des faits et des lois en Physique que si l'on a défini, et défini objectivement, par des phénomènes constatables et non par des idées métaphysiques, les mots qui servent à les exprimer.

• CALCUL DES AIRES RÉTICULAIRES.

Je rappellerai ⁽¹⁾ que la formule qui exprime l'aire réticulaire S d'un plan (pqr) , dans le réseau construit sur trois rangées conjuguées x, y, z , de paramètres a, b, c , et faisant entre elles les angles $yz = \alpha, zx = \beta, xy = \gamma$, est la suivante, dans laquelle en outre ξ, η, ζ sont les angles dièdres, dans le trièdre positif, des trois plans yz, zx, xy , deux à deux :

$$\frac{S^2}{a^2 b^2 c^2} = p^2 \frac{\sin^2 \alpha}{a^2} + q^2 \frac{\sin^2 \beta}{b^2} + r^2 \frac{\sin^2 \gamma}{c^2} \\ - 2pq \frac{\sin \alpha \sin \beta \cos \zeta}{ab} - 2qr \frac{\sin \beta \sin \gamma \cos \xi}{bc} - 2pr \frac{\sin \alpha \sin \gamma \cos \eta}{ac}.$$

(1) Voir MALLARD, *Traité de Cristallographie*, t. I, p. 22 et 305.

D'autre part, si les trois rangées x, y, z ne sont pas conjuguées, il n'y a intérêt à considérer que les trois cas suivants, qui suffisent à exprimer tous les modes possibles de réseaux de toutes les symétries :

1° La maille définie par les paramètres a, b, c est centrée. Dans ce cas, la valeur de S donné par la formule est à diviser par 2 pour les plans pour lesquels $p + q + r$ est pair. Si l'on classe les plans par ordre de densité réticulaire décroissante, on verra venir en tête les formes pour lesquelles $p + q + r$ est pair. Par exemple, (110), (011), (101) domineront généralement sur (100), (010), (001); (112), (121), (211), sur (111), etc.

2° La maille a une de ses faces centrées, xy par exemple. Alors S est à diviser par 2 pour les plans pour lesquels $p + q$ est pair. Par exemple, (110), (201), (021), qui domineront alors, en général, sur (011), (101), (102), etc.

3° La maille a toutes ses faces centrées. Alors S est à diviser par 2 pour les plans dont les trois caractéristiques sont impaires. La densité des formes (111), (113), (311), (131), (115), etc., est alors exagérée aux dépens de celle des formes ayant des caractéristiques paires ou nulles.

Dans les systèmes à axe principal ou orthorhombique, où la direction des arêtes x, y, z est imposée par la symétrie, les remarques ci-dessus permettent généralement de découvrir très vite, pour chaque espèce, à la seule inspection des caractéristiques des faces connues, les modifications qu'il y a lieu de faire subir aux paramètres et le mode du réseau. Dans les systèmes clinorhombique et anorthique, la recherche est parfois plus pénible et ne peut se faire que par tâtonnements.

I. — LA LOI DE BRAVAIS DANS LES CAS SIMPLES.

J'examinerai en détail quelques espèces cristallines, afin de bien montrer comment les paramètres déterminés par la loi de Bravais expriment infiniment plus de faits que ceux qui résultent de la loi des troncatures rationnelles simples. Les données dont je me servirai sont, en général, celles de Dana (édition 1903).

Tourmaline. — Exemple du peu d'influence de la mériédrie sur le classement des formes par ordre d'importance, dans une espèce qui peut cependant passer pour un des types les plus nets de cristaux à formes extérieures mériédres. Malgré la mériédrie, le réseau intervient presque seul dans la détermination de l'importance des formes. D'autre part, exemple *d'autant plus frappant* de la différence essentielle entre les cristaux à réseau ternaire et ceux qui, ayant un réseau sénaire, sont ternaires par mériédrie.

Le réseau conforme à la loi de Bravais est rhomboédrique, avec le paramètre $c:a = 0,4477$. Avec la notation ternaire, qui convient seule en pareil cas, on a

$$S^2 = (p - q)^2 + (q - r)^2 + (r - p)^2 + (p + q + r)^2 \times 7,485.$$

Rangeons d'abord les plans réticulaires de ce réseau par ordre de densités réticulaires décroissantes

$\frac{(10\bar{1})}{6}$	$\frac{(100)}{9,48}$	$\frac{(11\bar{1})}{15,48}$	$\frac{(11\bar{2})}{18}$	$\frac{(20\bar{1})}{21,48}$	$\frac{(110)}{31,94}$	$\frac{(21\bar{2})}{33,48}$	$\frac{(11\bar{3})}{39,48}$
$\frac{(21\bar{3})}{42}$	$\frac{(21\bar{1})}{43,94}$	$\frac{(30\bar{2})}{45,48}$	$\frac{(30\bar{1})}{55,94}$	$\frac{(22\bar{3})}{57,48}$	$\frac{(31\bar{3})}{63,48}$	$\frac{(111)}{67,36}$	$\frac{(31\bar{2})}{67,94}$
$\frac{(21\bar{4})}{69,48}$	$\frac{(210)}{73,36}$	$\frac{(31\bar{4})}{78}$	$\frac{(11\bar{4})}{79,94}$	$\frac{(40\bar{3})}{81,48}$	$\frac{(22\bar{1})}{85,36}$	$\frac{(31\bar{1})}{91,36}$	$\frac{(32\bar{3})}{91,94}$
$\frac{(32\bar{4})}{93,5}$							

Les vingt premières formes sont toutes connues dans la tourmaline (les formes connues sont en caractères gras et soulignées). Les deux premières, (101) et (100), sont les clivages imparfaits de l'espèce. La première est le prisme hexagonal absolument constant dans tous les cristaux, parallèlement auquel ils s'allongent presque toujours. La seconde, (100), est constante, malgré l'antihémiédrie, aux deux extrémités des cristaux et n'est pas sensiblement affectée par l'hémiédrie. Viennent ensuite : (111), constante au pôle antilogue, et très fréquente aussi au pôle analogue; puis le prisme (112), également constant, souvent triangulaire, mais très souvent aussi présentant ses deux demi-formes réunies, quoique inégalement développées; (201) et (110), surtout communes au pôle analogue, mais existant aussi à l'autre extrémité. Ces six premières formes sont nettement les plus importantes de l'espèce, les deux premières l'emportant bien nettement aussi, tant comme clivages que comme faces, sur les quatre suivantes, et parmi celles-ci, les deux premières constantes, les deux autres seulement communes. Les six formes suivantes, (212), (113), (213), (211), (302), (301), sont encore communes, mais nettement accessoires, et presque toujours affectées par la mériédrie; (113), (211), (302) n'existent guère qu'au pôle antilogue, (301) au pôle analogue. Toutes les formes suivantes sont encore moins importantes. Il faut aller jusqu'à la vingt et unième pour trouver une forme de la liste qui ne soit pas connue, (403), alors que la suivante, rare d'ailleurs, a été rencontrée. Au delà, les formes connues, toutes rares, s'espacent de plus en plus en se mêlant aux faces non signalées, ainsi qu'on doit s'y attendre.

Voilà donc une espèce dans laquelle la mériédrie affecte

très nettement les formes; où, par suite, l'influence perturbatrice du motif cristallin semble devoir masquer, plus que dans d'autres, le rôle de la densité réticulaire. Et cependant ce rôle reste si prédominant que la mériédrie n'affecte pas sensiblement l'ordre d'importance des formes. Pour les faces très importantes, de très grande densité réticulaire, les deux formes complémentaires restent d'importance sensiblement égale, malgré la mériédrie. Pour les suivantes, encore très importantes, l'une des deux formes complémentaires est constante, l'autre moins. Puis viennent des formes communes à l'un des pôles, rares à l'autre. Enfin des faces qu'on ne connaît qu'à l'un des pôles. En d'autres termes, l'influence du motif cristallin ne trouble pas la loi de Bravais pour les formes de grande densité; elle se fait sentir seulement, et de plus en plus, lorsqu'on va vers les formes de faible densité. Le même fait s'observe partout dans les espèces mériédres, et il est très significatif. Il montre admirablement combien est faible l'importance du facteur « motif » vis-à-vis de celle du facteur « réseau » dans la détermination des formes et clivages. La loi fondamentale de la Cristallographie, quelque forme qu'on lui donne, ne signifie d'ailleurs pas autre chose : C'est le réseau qui joue le rôle dominant dans la détermination des faces planes, le motif n'intervenant qu'à titre d'influence perturbatrice secondaire. La loi de Bravais ajoute seulement : Dans le réseau, l'importance des formes croît avec leur densité réticulaire. Pour la tourmaline, cela est remarquablement net.

Afin de mieux mettre en lumière le grand intérêt qu'il y a à préférer à la considération de la simplicité des caractéristiques celle de la densité réticulaire, je donne ci-après le tableau de toutes les formes connues de la tourmaline et des carrés de leurs aires réticulaires comparées à celles des formes de mêmes caractéristiques non connues.

<u>(100)</u>			
$S^2 = 9,48$			
<u>(101)</u>	<u>(110)</u>		
6	31,94		
<u>(111)</u>	<u>(111)</u>		
15,48	67,36		
<u>(201)</u>	<u>(210)</u>		
21,48	73,36		
<u>(112)</u>	<u>(211)</u>	<u>(211)</u>	
18	43,94	121,76	
<u>(212)</u>	<u>(221)</u>	<u>(221)</u>	
33,48	85,36	189,12	
<u>(301)</u>	<u>(310)</u>		
55,94	133,76		
<u>(113)</u>	<u>(311)</u>	<u>(311)</u>	
39,48	91,36	195,12	
<u>(302)</u>	<u>(320)</u>		
45,48	201,12		
<u>(213)</u>	<u>(312)</u>	<u>(321)</u>	<u>(321)</u>
42	67,94	145,76	275,5
<u>(223)</u>	<u>(322)</u>	<u>(322)</u>	
57,48	109,36	368,8	
<u>(313)</u>	<u>(331)</u>	<u>(331)</u>	
63,48	219,1	374,8	
<u>(323)</u>	<u>(332)</u>	<u>(332)</u>	
91,94	169,8	481,0	
<u>(114)</u>	<u>(411)</u>	<u>(411)</u>	
79,94	157,8	287,5	

<u>(214)</u>	<u>(412)</u>	<u>(421)</u>	<u>(421)</u>
69,48	121,4	225,1	380,8
<u>(314)</u>	<u>(413)</u>	<u>(431)</u>	<u>(431)</u>
78	103,9	311,5	493
<u>(334)</u>	<u>(433)</u>	<u>(433)</u>	
127,9	205,8	750,5	
<u>(434)</u>	<u>(443)</u>	<u>(443)</u>	
181,4	285,1	907,7	
<u>(325)</u>	<u>(523)</u>	<u>(532)</u>	<u>(532)</u>
114,0	217,8	347,5	762,5
<u>(335)</u>	<u>(533)</u>	<u>(533)</u>	(?)
135,5	291,1	913,7	
<u>(415)</u>	<u>(514)</u>	<u>(541)</u>	<u>(541)</u>
126,0	151,9	541	774,5
<u>(435)</u>	<u>(534)</u>	<u>(543)</u>	<u>(543)</u>
175,9	253,8	383,5	1083,8
<u>(416)</u>	<u>(611)</u>	<u>(611)</u>	
217,8	347,5	529	
<u>(656)</u>	<u>(663)</u>	<u>(663)</u>	
453,1	608,8	2165	
<u>(701)</u>	<u>(710)</u>		
383,5	565		
<u>(337)</u>	<u>(733)</u>	<u>(733)</u>	
207,5	518,8	1297	
<u>(307)</u>	<u>(730)</u>		
277,8	822,5		
<u>(437)</u>	<u>(734)</u>	<u>(743)</u>	<u>(743)</u>
222	435,5	637	1493

<u>(447)</u>	<u>(744)</u>	(744)		(537)	<u>(755)</u>	(755)	
249,5	561	1702		355	615	2171	
<u>(617)</u>	<u>(716)</u>	<u>(761)</u>	<u>(761)</u>	<u>(549)</u>	<u>(943)</u>	<u>(954)</u>	<u>(954)</u>
258	284	1192	1529	366	781	1014	2467
<u>(14.11.25)</u>	<u>(23.11.14)</u>	<u>(23.14.11)</u>	<u>(23.14.11)</u>				
<u>(19.19.26)</u>	<u>(26.19.19)</u>	<u>(26.19.19)</u>					
<u>(11.11.16)</u>	<u>(16.11.11)</u>	<u>(16.11.11)</u>					
<u>(15. 0. 14)</u>	<u>(13.14. 0)</u>						
<u>(13.13.14)</u>	<u>(14.13.13)</u>	<u>(14.13.13)</u>					

Examinons ces séries : Il est frappant qu'à peu d'exceptions près, exceptions qui toutes portent sur des formes douteuses ou très rares, dans chaque série de formes de mêmes caractéristiques, ce sont celles de densité réticulaire maximum qui sont connues. Dans chaque série, les caractéristiques sont également simples et par suite les formes devraient avoir, en vertu de la loi des troncatures simples, les mêmes raisons d'exister. Le tableau montre avec évidence qu'elles n'existent pas indifféremment, mais que celles qui sont connues sont celles de plus grande densité.

Pour chaque forme connue, comptons le nombre de formes inconnues qui la suit dans sa série, et faisons la somme A de ces nombres. Comptons de même le nombre de formes inconnues qui précède chaque forme connue dans sa série, et faisons la somme B de ces nombres. Le rapport $R = A : B$ serait sensiblement égal à 1 si les formes astreintes à la seule loi des caractéristiques simples se répartissaient au hasard dans les séries. Il serait infini si la loi de Bravais, au contraire, était absolue. Il est ici égal à $63 : 8$. Le rapport R mesure en quelque sorte la supériorité de la considération des aires réticulaires sur celle de la simplicité des caractéristiques.

Si d'ailleurs on se reporte au détail du tableau précédent, on remarque les faits suivants dans les séries contenant plusieurs formes connues. Dans la série des 1,1,0, (101) est clivage et forme constante, (110) encore commune est nettement moins importante.

Dans la série des 1,1,1, (111) est constante, au pôle antilogue surtout, (111) est insignifiante.

Dans la série des 2,1,0, (201) est commune, au pôle analogue surtout, (210) est rare.

Dans la série des 2,1,1, (112) est constante, (211) est fréquente, mais secondaire, (211) est rare. Pour les autres séries, qui ne contiennent plus que des formes secondaires, l'ordre d'importance naturel ne peut plus guère être apprécié, mais l'existence des faces suffit.

Lors donc, en résumé, que l'on donne pour la tourmaline les indications suivantes : *le réseau est rhomboédrique et le paramètre égal à 0,4477*, s'il est entendu que le paramètre a été déterminé conformément à la loi de Bravais, on connaît immédiatement et sans aucune erreur les vingt formes simples les plus importantes de l'espèce : on sait que la prédominance du prisme (101) entraînera l'allongement prismatique habituel des cristaux, qui seront terminés par diverses faces parmi lesquelles dominera le rhomboèdre (100), puis (111), (201), (110), etc. (de plus en plus nettement affectées par la mériédrie), avec le prisme (112), encore très important (affecté par la mériédrie au même titre que ces rhomboèdres et scalénoèdres). A part l'influence de la mériédrie, qui sort du cadre de la loi de Bravais, mais dont on peut cependant

prévoir l'importance relative décroissante à mesure que croît la densité réticulaire, ces données suffisent pour dessiner avec beaucoup d'exactitude le cristal type de tourmaline tel qu'il est. D'autre part, pour les faces plus rares, connues seulement à titre de modifications accessoires sur ces premières formes dominantes, nous pouvons prévoir, à bien peu d'erreurs près, étant données les caractéristiques au signe et à l'ordre près, quelle est, parmi les formes de mêmes caractéristiques, celle qui existe. Une grande quantité de renseignements se trouvent ainsi contenus dans la simple indication du mode du réseau et de son paramètre.

Le même paramètre, déterminé en vertu de la loi des troncutures simples, laisse dans l'incertitude toutes ces indications. Il rappelle qu'on a dû prendre pour (100) un rhomboèdre très important, mais c'est à peu près tout.

On sait qu'au seul point de vue de la symétrie un cristal ternaire peut toujours être considéré comme un cristal sénnaire mérièdre. La loi de Bravais établit une distinction extrêmement nette entre ces deux conceptions géométriquement équivalentes et classe les cristaux ternaires en deux groupes : 1° ceux qui ont un réseau ternaire; 2° ceux qui ont un réseau sénnaire et sont ternaires par mérièdrie, c'est-à-dire par la symétrie ternaire de leur motif. La tourmaline appartient au premier groupe. On vient de voir comment le réseau ternaire classe ses formes suivant un ordre remarquablement concordant avec l'ordre naturel d'importance. Voyons ce que donnerait un réseau sénnaire. Le seul paramètre admissible serait le même que précédemment, et il classerait les formes comme suit :

$\frac{(10\bar{1}0)}{(11\bar{2})}$	$\frac{(11\bar{2}0)}{(10\bar{1})}$	$\frac{(0001)}{(111)}$	$\frac{(10\bar{1}1)}{(100)}$	$\frac{(01\bar{1}1)}{(22\bar{1})}$	$\frac{(11\bar{2}1)}{(41\bar{2})}$	$\frac{(21\bar{3}0)}{(41\bar{5})}$
$S^2 = 2$	6	7,48	9,48	13,48	14	

<u>(202̄1)</u>	<u>(022̄1)</u>	<u>(213̄1)</u>	<u>(123̄1)</u>	<u>(303̄1)</u>	<u>(033̄1)</u>	
<u>(225̄)</u>	<u>(411̄)</u>	<u>(201̄)</u>	<u>(524̄)</u>	<u>(337̄)</u>	<u>(445̄)</u>	
15,48		21,48		25,48		
<u>(314̄0)</u>	<u>(224̄1)</u>	<u>(101̄2)</u>	<u>(011̄2)</u>	<u>(314̄1)</u>	<u>(134̄1)</u>	<u>(112̄2)</u>
<u>(527̄)</u>	<u>(715̄)</u>	<u>(411̄)</u>	<u>(410̄)</u>	<u>(418̄)</u>	<u>(212̄)</u>	<u>(521̄)</u>
26	31,48	31,94		33,48		35,94
<u>(325̄0)</u>	<u>(404̄1)</u>	<u>(044̄1)</u>	<u>(415̄0)</u>	<u>(215̄2)</u>	<u>(123̄2)</u>	
<u>(718̄)</u>	<u>(413̄)</u>	<u>(557̄)</u>	<u>(213̄)</u>	<u>(712̄)</u>	<u>(211̄)</u>	
38	39,48	42		43,94		
<u>(325̄1)</u>	<u>(235̄1)</u>	<u>(303̄2)</u>	<u>(033̄2)</u>	<u>(415̄1)</u>	<u>(145̄1)</u>	
<u>(302̄)</u>	<u>(827̄)</u>	<u>(118̄)</u>	<u>(554̄)</u>	<u>(52.10)</u>	<u>(748̄)</u>	
45,48		47,94		49,48		
<u>(314̄2)</u>	<u>(134̄2)</u>	<u>(305̄1)</u>	<u>(055̄1)</u>			
<u>(301̄)</u>	<u>(745̄)</u>	<u>(4.4.11)</u>	<u>(223̄)</u>			
55,94		57,48				

Un tel classement n'est nullement conforme à l'ordre naturel d'importance des formes. Les formes dominantes (101̄) et (100), clivages, viennent après le prisme (112̄), et surtout la dernière après (111) qui est une forme insignifiante. Rien n'explique plus pourquoi (221̄), forme rare, est beaucoup moins importante que (100), rhomboèdre dominant, qui aurait même densité. (412̄), qui vient après, est inconnue, etc. Sauf deux exceptions, les formes ne sont pas accompagnées de leurs formes birhomboédriques. Et ces deux exceptions elles-mêmes sont typiques, car dans le groupe (100) (221̄) la première est très importante, la seconde très peu, et de même dans le groupe (110) (411).

Il n'y a rien là qui ressemble à la faible influence que nous avons constatée ci-dessus pour la mériédrie. Le contraste est frappant. Tout s'éclaire, au contraire, immédiatement si l'on passe du réseau sénairé au ternaire. Reprenons la liste ci-dessus des formes classées par ordre de densités décroissantes dans le réseau sénairé, et inscrivons au-dessous de chaque forme le coefficient K par lequel doit être multipliée son aire réticulaire pour passer au réseau ternaire :

$\frac{(10\bar{1}0)}{(11\bar{2})}$	$\frac{(11\bar{2}0)}{(10\bar{1})}$	$\frac{(0001)}{(111)}$	$\frac{(10\bar{1}1)}{(100)}$	$\frac{(01\bar{1}1)}{(22\bar{1})}$	$\frac{(11\bar{2}1)}{(41\bar{2})}$	$\frac{(21\bar{3}0)}{(41\bar{5})}$
K = 3	1	3	1	3	3	3
$\frac{(20\bar{2}1)}{(11\bar{5})}$	$\frac{(02\bar{2}1)}{(11\bar{1})}$	$\frac{(21\bar{3}1)}{(20\bar{1})}$	$\frac{(12\bar{3}1)}{(52\bar{4})}$	$\frac{(30\bar{3}1)}{(22\bar{7})}$	$\frac{(03\bar{3}1)}{(44\bar{5})}$	$\frac{(31\bar{4}0)}{(52\bar{7})}$
3	1	1	3	3	3	3
$\frac{(22\bar{4}1)}{(71\bar{5})}$	$\frac{(10\bar{1}2)}{(411)}$	$\frac{(01\bar{1}2)}{(110)}$	$\frac{(31\bar{4}1)}{(41\bar{8})}$	$\frac{(13\bar{4}1)}{(21\bar{2})}$	$\frac{(11\bar{2}2)}{(52\bar{1})}$	$\frac{(32\bar{5}0)}{(71\bar{8})}$
3	3	1	3	1	3	3
$\frac{(40\bar{4}1)}{(11\bar{3})}$	$\frac{(04\bar{4}1)}{(55\bar{7})}$	$\frac{(41\bar{5}0)}{(21\bar{3})}$	$\frac{(21\bar{3}2)}{(71\bar{2})}$	$\frac{(12\bar{3}2)}{(21\bar{1})}$	$\frac{(32\bar{5}1)}{(30\bar{2})}$	$\frac{(23\bar{5}1)}{(82\bar{7})}$
1	3	1	3	1	1	3
$\frac{(30\bar{3}2)}{(11\bar{8})}$	$\frac{(03\bar{3}2)}{(55\bar{4})}$	$\frac{(41\bar{5}1)}{(5.2.10)}$	$\frac{(14\bar{5}1)}{(74\bar{8})}$	$\frac{(31\bar{4}2)}{(30\bar{1})}$	$\frac{(13\bar{4}2)}{(74\bar{6})}$	
3	3	3	3	1	3	
$\frac{(50\bar{5}1)}{(4.4.11)}$	$\frac{(05\bar{5}1)}{(22\bar{3})}$	$\frac{(33\bar{6}1)}{(10.1.8)}$	$\frac{(51\bar{6}0)}{(7.4.11)}$	$\frac{(24\bar{6}1)}{(31\bar{3})}$	$\frac{(42\bar{6}1)}{(7.1.11)}$	
3	1	3	3	1	3	

$\overbrace{(32\bar{5}2)} \quad \overbrace{(23\bar{5}2)}$	$\overbrace{(10\bar{1}3)} \quad \overbrace{(01\bar{1}3)}$	$\overbrace{(51\bar{6}1)} \quad \overbrace{(15\bar{6}1)}$
$\overbrace{(10.1.\bar{5})} \quad \overbrace{(31\bar{2})}$	$\overbrace{(522)} \quad \overbrace{(441)}$	$\overbrace{(21\bar{4})} \quad \overbrace{(8.5.\bar{1}0)}$
3 1	3 3	1 3
$\overbrace{(41\bar{5}2)} \quad \overbrace{(14\bar{5}2)} \quad \overbrace{(11\bar{2}3)}$	$\overbrace{(43\bar{7}0)} \quad \overbrace{(20\bar{2}3)} \quad \overbrace{(02\bar{2}3)}$	
$\overbrace{(4.1.\bar{1}1)} \quad \overbrace{(85\bar{7})} \quad \overbrace{(210)}$	$\overbrace{(10.1.\bar{1}1)} \quad \overbrace{(711)} \quad \overbrace{(55\bar{1})}$	
3 3 1	3 3 3	
$\overbrace{(52\bar{7}0)} \quad \overbrace{(50\bar{5}2)} \quad \overbrace{(05\bar{5}2)}$		
$\overbrace{(31\bar{4})} \quad \overbrace{(11\bar{4})} \quad \overbrace{(778)}$		
1 1 3		

On voit avec quelle parfaite régularité, dans cette liste, existent toutes les formes qui ont même aire dans les deux réseaux, et manquent (sauf les toutes premières dont la densité est grande dans les deux réseaux) toutes celles dont l'aire est, dans le réseau ternaire, triple de ce qu'elle serait dans le réseau sénair. J'ai arrêté là la liste pour abrégier, mais elle se continue exactement de même. Sur les vingt-trois autres formes citées, trois seulement, qui sont tout à fait insignifiantes, $(14.11.\bar{25})$, $(19.19.\bar{26})$, $(11.11.\bar{16})$, ont le coefficient 3. Les vingt autres ont, comme les précédentes, le coefficient 1, et dans chaque groupe de deux formes birhomboédriques c'est *toujours* celle des deux formes qui a le coefficient 1 qui est connue, celle qui a le coefficient 3 qui manque.

Il y a donc, entre ces deux formes birhomboédriques de chaque groupe, qui ne se distinguent pas entre elles dans le réseau sénair, une différence beaucoup plus importante que celle qu'est capable de déterminer, d'après l'exemple même de la tourmaline et beaucoup d'autres, la dissymétrie du motif, c'est-à-dire la mériédrie. On exprime admirablement

les faits en admettant pour la tourmaline un réseau ternaire, nullement en adoptant un réseau sénnaire. Géométriquement équivalentes, ces deux solutions ne le sont plus du tout si l'on tient compte non plus seulement des directions des faces mais de leur importance, non plus seulement des faces possibles comme étant troncatures rationnelles mais des faces réellement existantes. Il est, pour cette raison, infiniment préférable de séparer le système ternaire du sénnaire, bien que les mêmes symétries puissent se rencontrer dans les cristaux des deux systèmes. La loi de Bravais permet de les distinguer nettement entre eux.

Soufre orthorhombique. — La forme et le mode du réseau résultent immédiatement de la grande prépondérance de l'octaèdre noté (111) et de la base (001). Le réseau est du mode *octaédral rhombique* (toutes les faces du primitif centrées), avec les paramètres $a : b : c = 0,8131 : 1 : 1,9034$.

Cela est confirmé par l'abondance des formes dont toutes les caractéristiques sont impaires : (111), (113), (115) surtout, puis (117), (119), (337), (335), (553), (331), (315), (313), (311), (133), (155), (135), (131), (151), (319).

On a

$$S^2 = 5,48 p^2 + 3,629 q^2 + r^2.$$

S est à multiplier par 2 pour les formes dont les trois caractéristiques ne sont pas toutes impaires.

Les formes se classent ainsi par aires réticulaires croissantes, jusqu'à $S^2 = 160$:

<u>(001)</u>	<u>(111)</u>	<u>(010)</u>	<u>(113)</u>	<u>(011)</u>	<u>(100)</u>	<u>(101)</u>	<u>(012)</u>
$S^2 = 4$	10,1	14,5	18,1	18,5	21,9	25,9	30,5
<u>(115)</u>	<u>(110)</u>	<u>(102)</u>	<u>(131)</u>	<u>(133)</u>	<u>(013)</u>	<u>(112)</u>	<u>(311)</u>
34,1	36,4	37,9	39,1	47,1	50,5	52,4	53,9

<u>(103)</u>	<u>(117)</u>	<u>(313)</u>	<u>(021)</u>	<u>(135)</u>	<u>(315)</u>	<u>(014)</u>	<u>(120)</u>
57,9	58,1	61,9	61,9	63,1	77,9	78,5	79,8
<u>(331)</u>	<u>(121)</u>	<u>(104)</u>	<u>(137)</u>	<u>(119)</u>	<u>(201)</u>	<u>(023)</u>	<u>(122)</u>
82,9	83,8	85,9	87	90,1	91,7	93,9	95,8
<u>(151)</u>	<u>(114)</u>	<u>(317)</u>	<u>(210)</u>	<u>(153)</u>	<u>(211)</u>	<u>(335)</u>	<u>(015)</u>
97	100,4	101,9	102,2	105	106,2	106,9	114,5
<u>(123)</u>	<u>(212)</u>	<u>(139)</u>	<u>(155)</u>	<u>(105)</u>	<u>(203)</u>	<u>(1.1.11)</u>	<u>(337)</u>
115,8	118,2	119,1	121	121,9	123,7	130,1	130,9
<u>(319)</u>	<u>(031)</u>	<u>(213)</u>	<u>(331)</u>	<u>(511)</u>	<u>(124)</u>	<u>(157)</u>	<u>(032)</u>
133,9	134,3	138,2	140,8	141,6	143,8	145	146,3
<u>(353)</u>	<u>(513)</u>	<u>(221)</u>	<u>(130)</u>	<u>(025)</u>	<u>(016)</u>		
148,8	149,6	149,6	152,2	157,9	158,5		

Ce tableau comprend toutes les formes signalées, à ma connaissance, sauf les trois faces très rares (553), (305), (344).

Les premières formes du tableau sont bien nettement les plus importantes de l'espèce, surtout (001) et (111) qui sont clivages imparfaits et formes constantes, puis en seconde ligne (010), (113), (011), formes extrêmement communes, presque constantes encore, et qui complètent le cristal type bien connu du soufre. Le réseau, déterminé ici en somme par la forme unique (111), rend immédiatement compte, grâce à la loi de Bravais, des cinq formes principales, et cela est remarquable surtout pour la forme de caractéristiques relativement compliquées (113). Parmi les formes suivantes, (115), de caractéristiques plus compliquées encore, est remarquablement fréquente, et la loi de Bravais explique pourquoi elle est beaucoup plus commune que (112) ou (114). En général, les formes à caractéristiques impaires : (113),

(115), (117), (119), (131), (311), (313), (133), (331), (135), (315), (335), (337), (319) se trouvent classées en un rang que tout autre mode du réseau ou la complication de leurs caractéristiques ne leur assigneraient nullement. Impossible de méconnaître, d'après cet ensemble de faits, que la densité réticulaire est le principal facteur de l'importance des formes.

Toutefois il y a des anomalies. La principale consiste dans le fait que les formes (012) et (102) sont inconnues. En vertu même de la loi de Bravais, ces formes sont déjà d'importance tout à fait secondaire, mais il est incontestable que la fréquence de (115) et de (110) fait de l'absence de (012) et (102), dans une espèce aussi connue, une anomalie notable. Il n'en est pas moins vrai qu'il faut aller jusqu'à la huitième forme du tableau pour trouver, dans l'absence de (012), une première indication de l'influence propre du motif cristallin. Jusque-là, l'influence du facteur « réseau » règne sans partage, et au delà l'importance des formes à caractéristiques impaires compliquées montre assez qu'elle est loin d'être complètement masquée par l'action du facteur « motif ».

Pour mieux mettre en évidence l'action de la densité réticulaire, reprenons, comme dans l'exemple précédent, la comparaison des densités des formes d'égales caractéristiques :

$$S^2 = \begin{array}{ccc} \frac{(001)}{4} & \frac{(010)}{14,5} & \frac{(100)}{21,9} \\ \frac{(011)}{18,5} & \frac{(101)}{25,9} & \frac{(110)}{36,4} \\ \frac{(111)}{10,1} \end{array}$$

(012)	(102)	(021)	(120)	(201)	(210)
30,5	37,9	61,9	79,8	91,7	102,2
(112)	(121)	(211)			
52,4	83,8	106,2			
(122)	(212)	(221)			
95,8	118,2	149,6			
(013)	(103)	(031)	(130)	(301)	(310)
50,5	57,9	134,3	152,2	201,3	211,8
(113)	(131)	(311)			
18,1	39,1	53,9			
(023)	(203)	(032)	(230)	(302)	(320)
93,9	123,7	146,3	218	213,3	255,2
(133)	(313)	(331)			
47,1	61,9	82,9			
(114)	(141)	(411)			
100,4	257,6	369,2			
(344)	(434)	(443)			
493	545	618,4			
(115)	(151)	(511)			
34,1	97,0	141,6			
(035)	(305)	(053)	(350)	(503)	(530)
230,3	297,3	398	559,3	584	678,3
(135)	(315)	(153)	(351)	(513)	(531)
63,1	77,9	105	140,8	149,6	170,6
(335)	(353)	(533)			
106,9	148,8	178,6			
(155)	(515)	(551)			
121	165,6	228,5			
(355)	(535)	(553)			
164,8	194,6	236,5			

<u>(117)</u>	<u>(171)</u>	<u>(711)</u>			
58,1	183,8	273,1			
<u>(337)</u>	<u>(373)</u>	<u>(733)</u>			
130,9	235,7	310,1			
<u>(119)</u>	<u>(191)</u>	<u>(911)</u>			
90,1	299,7	448,5			
<u>(139)</u>	<u>(319)</u>	<u>(193)</u>	<u>(391)</u>	<u>(913)</u>	<u>(931)</u>
119,1	133,9	307,7	343,5	456,5	477,7

Le rapport R est ici égal à 50 : 8. Dans le détail des séries, on peut faire les remarques suivantes :

Des trois formes en 1, 0, 0, (001) est, sans conteste, la plus importante, seul clivage à peu près net et forme constante, (010) est fréquente, (100) beaucoup plus rare.

Des trois formes en 1, 1, 0, (011) est presque constante, (101) et (110) plus rares. Le clivage indiqué suivant (110) serait une anomalie, mais il est bien douteux.

Des trois formes en 2, 1, 1, (112) seule est connue. Son aire est minimum.

Des six formes en 3, 1, 0, quatre sont connues : (013) assez commune, (103) moins fréquente, (031) et (130) rares. Les deux autres manquent.

Parmi les trois formes en 3, 1, 1, (113) est presque constante, (131) plus rare, (311) plus rare encore.

Des six formes en 3, 2, 0, la seule connue est (023), rare, dont l'aire est minimum.

Parmi les formes en 3, 3, 1, (133) est assez commune, les deux autres rares.

Des trois formes en 4, 1, 1, seule (114), assez rare, est signalée.

Des trois formes en 4, 4, 3, seule (344), assez rare, est connue.

Des trois formes en 5, 1, 1, (115) est commune, (151) très rare, (511) n'est pas connue.

Des six formes en 5, 3, 1, (135) et (315) sont connues, les autres manquent.

De même encore dans les séries suivantes, (335), (155), (117), (337), (119), seules connues dans leur série, ont l'aire minimum.

En regard de tous ces faits, il y a cinq faits contraires :

Parmi les six formes en 2, 1, 0, une seule est signalée, (120), qui n'a pas l'aire minimum.

Parmi les trois formes en 2, 2, 1, (122) et (221), très rares, ont été signalées, et non (212), qui a une aire intermédiaire.

Parmi les six formes en 5, 3, 0, et parmi les six formes en 9, 3, 1, les formes (305) et (319), qui ont été signalées chacune une fois, n'occupent pas le premier rang mais le second de leur série.

Enfin, on a cité une seule fois la forme (553), alors que (355) et (535) ne sont pas connues.

Si l'on veut bien se rappeler qu'*a priori* les faits (variations des formes et existence des formes méridiennes) nous interdisent de chercher à rendre compte de l'importance des faces par l'aire réticulaire seule; si l'on considère aussi que je suis obligé ici d'accepter toutes les données amassées par de nombreux observateurs, faute de criterium pour éliminer celles qui sont douteuses; si l'on remarque enfin que, pour les formes rares, des découvertes nouvelles restent toujours à prévoir, en sorte que l'absence de formes telles que (212), (035), (355), (535), (139), alors que les formes moins denses (221), (305), (553), (319) ont été observées très accidentel-

lement, ne peut passer vraiment pour une anomalie établie, ce qui ôte toute importance à quatre sur cinq des cas contraires, on ne pourra manquer, je pense, d'être frappé de l'examen du tableau ci-dessus. Le groupement des formes connues, même si l'on s'en tient à leur simple existence sans essayer d'apprécier leur ordre d'importance, en tête de chacune des lignes de ce tableau, ne saurait vraiment passer pour un fait de hasard. Il est par là incontestable, à mes yeux, que l'aire réticulaire dit une foule de choses que la simplicité des caractéristiques ne dit pas. Elle ne dit pas absolument tout, cela est vrai, et nous savions d'avance qu'elle ne le peut pas. Mais ce qui est remarquable, ce qui me paraît ressortir avec évidence, comme une loi naturelle impossible à prévoir, de ce tableau comparatif des deux lois, c'est précisément que les autres facteurs, d'avance connus comme devant intervenir pour déterminer l'importance des faces, facteur externe mis en évidence par les variations de formes, facteur propre au cristal mis en évidence par l'existence des formes mériédres, n'interviennent que pour modifier l'ordre d'importance de quelques formes secondaires, et ne suffisent pas à masquer le rôle prépondérant de la densité réticulaire.

Réalgar. -- Les axes de Marignac sont bien choisis, mais les paramètres a et c sont à diviser par 2 :

$$a : b : c = 0,7201 : 1 : 0,4864, \quad \beta = 66^{\circ}5'.$$

Le mode du réseau est hexaédral (c'est-à-dire que la plus petite maille est le prisme oblique à base rectangle défini par les paramètres). On a

$$S^2 = 2,31 p^2 + q^2 + 5,06 r^2 + 2,77 pr.$$

Les formes se classent ainsi par ordre de densités décroissantes jusqu'à $S^2 = 25$:

$S^2 =$	<u>(010)</u>	<u>(100)</u>	<u>(110)</u>	<u>(10\bar{1})</u>	<u>(001)</u>	<u>(11\bar{1})</u>	<u>(011)</u>	<u>(120)</u>
	1	2,3	3,3	4,6	5,1	5,6	6,1	6,3
	<u>(12\bar{1})</u>	<u>(20\bar{1})</u>	<u>(021)</u>	<u>(21\bar{1})</u>	<u>(101)</u>	<u>(210)</u>	<u>(111)</u>	<u>(130)</u>
	8,6	8,8	9,1	9,8	10,1	10,2	11,1	11,3
	<u>(22\bar{1})</u>	<u>(13\bar{1})</u>	<u>(121)</u>	<u>(031)</u>	<u>(10\bar{2})</u>	<u>(30\bar{1})</u>	<u>(23\bar{1})</u>	<u>(11\bar{2})</u>
	12,8	13,6	14,1	14,1	17,0	17,5	17,8	18,0
	<u>(230)</u>	<u>(140)</u>	<u>(31\bar{1})</u>	<u>(131)</u>	<u>(21\bar{2})</u>	<u>(201)</u>	<u>(14\bar{1})</u>	<u>(211)</u>
	18,2	18,3	18,5	19,1	19,4	19,8	20,6	20,8
	<u>(12\bar{2})</u>	<u>(041)</u>	<u>(012)</u>	<u>(32\bar{1})</u>	<u>(310)</u>	<u>(221)</u>	<u>(30\bar{2})</u>	<u>(24\bar{1})</u>
	21,0	21,0	21,2	21,5	21,8	23,8	24,4	24,8
							<u>(320)</u>	
							24,8	

Les dix-huit premières formes sont bien toutes les formes de quelque importance, surtout (010), clivage le plus net et forme principale, puis (100), (110), (10\bar{1}), (001), (11\bar{1}), (011), (120), (12\bar{1}), formes qui sont précisément en tête de la série ci-dessus. La prédominance de la zone du prisme, le développement habituel de (010), l'importance à peu près égale de (001) et de (10\bar{1}), tout l'aspect habituel des cristaux sont d'accord avec cette série. On peut, d'après elle, dessiner le cristal ordinaire de réalgar.

Ici encore, comme l'ordre d'importance précis ne peut être établi, les faits seront plus frappants en divisant la question et comparant entre elles les formes de mêmes caractéristiques. C'est ce que permet le tableau suivant :

$$S^2 = \begin{array}{cccc} \frac{(010)}{1} & \frac{(100)}{2,3} & \frac{(001)}{5,1} & \\ \frac{(110)}{3,3} & \frac{(10\bar{1})}{4,6} & \frac{(011)}{6,1} & \frac{(101)}{10,1} \end{array}$$

<u>(111)</u>	<u>(111)</u>						
5,6	11,1						
<u>(120)</u>	<u>(201)</u>	<u>(021)</u>	<u>(210)</u>	<u>(102)</u>	<u>(201)</u>	<u>(012)</u>	<u>(102)</u>
6,3	8,8	9,1	10,2	17,0	19,8	21,2	28,1
<u>(121)</u>	<u>(211)</u>	<u>(121)</u>	<u>(112)</u>	<u>(211)</u>	<u>(112)</u>		
8,6	9,8	14,1	18,0	20,8	29,1		
<u>(221)</u>	<u>(212)</u>	<u>(122)</u>	<u>(221)</u>	<u>(122)</u>	<u>(212)</u>		
12,8	19,4	21,0	23,8	32,1	41,6		
<u>(130)</u>	<u>(031)</u>	<u>(301)</u>	<u>(310)</u>	<u>(301)</u>	<u>(103)</u>	<u>(013)</u>	<u>(103)</u>
11,3	14,1	17,5	21,8	34,2	39,5	46,5	56,2
<u>(131)</u>	<u>(311)</u>	<u>(131)</u>	<u>(311)</u>	<u>(113)</u>	<u>(113)</u>		
13,6	18,5	19,1	35,2	40,5	57,2		
<u>(230)</u>	<u>(302)</u>	<u>(320)</u>	<u>(032)</u>	<u>(203)</u>	<u>(023)</u>	<u>(302)</u>	<u>(203)</u>
18,2	24,4	24,8	29,2	38,2	49,5	57,7	71,4
<u>(231)</u>	<u>(321)</u>	<u>(312)</u>	<u>(132)</u>	<u>(231)</u>	<u>(132)</u>	<u>(321)</u>	<u>(213)</u>
17,8	21,5	25,4	26,0	28,8	37,1	38,2	39,2
				<u>(123)</u>	<u>(312)</u>	<u>(123)</u>	<u>(213)</u>
				43,5	58,7	60,2	72,4
<u>(232)</u>	<u>(322)</u>	<u>(223)</u>	<u>(232)</u>	<u>(322)</u>	<u>(223)</u>		
27,4	28,4	42,2	49,6	61,7	75,4		
<u>(331)</u>	<u>(313)</u>	<u>(331)</u>	<u>(133)</u>	<u>(133)</u>	<u>(313)</u>		
26,6	42,4	43,2	48,6	65,2	92,3		
<u>(332)</u>	<u>(323)</u>	<u>(233)</u>	<u>(332)</u>	<u>(233)</u>	<u>(323)</u>		
33,4	45,4	47,2	66,7	80,4	95,3		
<u>(140)</u>	<u>(041)</u>	<u>(401)</u>	<u>(410)</u>	<u>(401)</u>	<u>(104)</u>	<u>(014)</u>	<u>(104)</u>
18,3	21,1	30,9	38,0	53,1	72,2	82,0	94,4
<u>(141)</u>	<u>(141)</u>	<u>(411)</u>	<u>(411)</u>	<u>(114)</u>	<u>(114)</u>		
20,6	26,1	31,9	54,1	73,2	95,4		

<u>(241)</u>	<u>(142)</u>	<u>(421)</u>	<u>(241)</u>	<u>(412)</u>	<u>(142)</u>	<u>(421)</u>	<u>(214)</u>
24,8	33,0	34,9	35,8	36,0	44,1	57,1	69,0
				<u>(124)</u>	<u>(412)</u>	<u>(124)</u>	<u>(214)</u>
				76,2	80,4	98,4	113,4
<u>(340)</u>	<u>(430)</u>	<u>(403)</u>	<u>(043)</u>	<u>(304)</u>	<u>(034)</u>	<u>(403)</u>	<u>(304)</u>
36,8	46,0	49,3	61,5	68,5	90,0	115,7	135,0
<u>(441)</u>	<u>(441)</u>	<u>(414)</u>	<u>(144)</u>	<u>(144)</u>	<u>(414)</u>		
46,9	69,1	74,6	88,2	110,4	163,2		
<u>(150)</u>	<u>(051)</u>	<u>(501)</u>	<u>(510)</u>	<u>(501)</u>	<u>(105)</u>	<u>(015)</u>	<u>(105)</u>
27,3	30,1	49,0	58,8	76,7	105,0	127,5	142,7
<u>(250)</u>	<u>(052)</u>	<u>(502)</u>	<u>(520)</u>	<u>(502)</u>	<u>(205)</u>	<u>(025)</u>	<u>(205)</u>
34,2	45,2	50,3	61,8	105,7	108,0	130,5	163,4
<u>(350)</u>	<u>(503)</u>	<u>(530)</u>	<u>(053)</u>	<u>(305)</u>	<u>(035)</u>	<u>(503)</u>	<u>(305)</u>
45,8	61,7	66,8	70,5	105,7	135,5	144,8	188,8
<u>(450)</u>	<u>(540)</u>	<u>(504)</u>	<u>(054)</u>	<u>(405)</u>	<u>(045)</u>	<u>(504)</u>	<u>(405)</u>
62,0	73,8	83,3	106,0	108,1	142,5	194,1	218,9
<u>(370)</u>	<u>(073)</u>	<u>(703)</u>	<u>(730)</u>	<u>(307)</u>	<u>(703)</u>	<u>(037)</u>	<u>(307)</u>
69,8	94,5	100,6	122,2	210,6	216,9	256,9	326,9
<u>(181)</u>	<u>(181)</u>	<u>(811)</u>	<u>(811)</u>	<u>(118)</u>	<u>(118)</u>		
68,6	74,1	131,7	176,1	305,0	349,3		
<u>(15.15.2)</u>	<u>(15.15.2)</u>	<u>(15.2.15)</u>	<u>(2.15.15)</u>	<u>(2.15.15)</u>			
682	848	1039	1289	1456			
				<u>(15.2.15)</u>			
				2285			

Le rapport R est ici égal à 171 : 11.

Dans le détail des séries, on remarque les faits suivants :

Des trois formes en 1, 0, 0, (010) est forme et clivage principal, (100) et (001) sont formes moins constantes, quoique communes, et clivages imparfaits.

Des quatre formes en 1, 1, 0, (110) est forme importante, et clivage d'après Des Cloizeaux, (101) et (011) sont communes, (101) est plus rare.

Les deux formes en 1, 1, 1 sont communes.

Des huit formes en 2, 1, 0, (120) est presque constante, et est citée comme clivage imparfait. C'est le primitif habituel, (201) est fréquente, (021) et (210) sont connues encore, les quatre autres manquent.

Pour le reste, on voit avec quelle netteté les formes connues se placent en tête des séries. Les anomalies sont insignifiantes :

Dans la série des 2, 1, 1, (121) est commune, (211) paraît l'être moins, mais (121) et (211) manquent, tandis que (112) et (112) sont signalées, sans importance d'ailleurs. Cela est bien peu de chose. C'est néanmoins l'anomalie la plus grave.

Les autres anomalies, sauf pour (15.2.15), bien incertaine, consistent en ce que, parmi les 6, 8 ou 12 formes de mêmes caractéristiques, ce n'est pas toujours la première de la série qui a été rencontrée, mais parfois la seconde, de densité réticulaire peu différente. Il s'agit d'ailleurs, sans exception, de formes rares. Ce sont : (310), (320), (032), (313), (540), enfin (323) signalée comme douteuse.

Rien de plus net, malgré ces quelques anomalies inévitables, que l'influence de la densité réticulaire dans le choix des formes existantes parmi toutes celles d'égales caractéristiques. On peut s'attendre à rencontrer un jour, comme formes rares, (121), (211), (301), (302), (331), (430), au même titre que (112), (112), (310), (320), (032), (313),

(540). Mais il suffit, me semble-t-il, de regarder le tableau ci-dessus pour considérer comme très improbable, très peu conforme à ce qu'enseignent les formes déjà connues, la rencontre de faces à caractéristiques tout aussi simples, telles que (102), (212), (103), (11 $\bar{3}$), (113), (203), (12 $\bar{3}$), (123), (10 $\bar{4}$), (014), etc., que la loi des troncatures simples ne saurait distinguer en rien des précédentes. Ici encore, la supériorité de l'expression de la loi par les aires minima est éclatante.

Colemanite. — Autre exemple du mode hexaédral dans le système clinorhombique. Les paramètres sont

$$a : b : c = 0,7748 : 1 : 0,5410, \quad \beta = 69^{\circ}51'.$$

Le mode est hexaédral. Les aires se calculent par la formule

$$S^2 = 1,89 p^2 + q^2 + 3,88 r^2 + 1,865 pr.$$

Classement des formes jusqu'à $S^2 = 17$:

$S^2 =$	<u>(010)</u>	<u>(100)</u>	<u>(110)</u>	<u>(001)</u>	<u>(10$\bar{1}$)</u>	<u>(011)</u>	<u>(11$\bar{1}$)</u>	<u>(120)</u>
	1	1,89	2,89	3,88	3,90	4,88	4,90	5,89
	<u>(101)</u>	<u>(20$\bar{1}$)</u>	<u>(021)</u>	<u>(12$\bar{1}$)</u>	<u>(210)</u>	<u>(111)</u>	<u>(21$\bar{1}$)</u>	<u>(130)</u>
	7,63	7,71	7,88	7,90	8,56	8,63	8,71	10,89
	<u>(121)</u>	<u>(22$\bar{1}$)</u>	<u>(031)</u>	<u>(13$\bar{1}$)</u>	<u>(10$\bar{2}$)</u>	<u>(11$\bar{2}$)</u>	<u>(201)</u>	<u>(30$\bar{1}$)</u>
	11,63	11,71	12,88	12,90	13,68	14,68	15,17	15,30
	<u>(211)</u>	<u>(31$\bar{1}$)</u>	<u>(012)</u>	<u>(230)</u>	<u>(21$\bar{2}$)</u>	<u>(131)</u>	<u>(23$\bar{1}$)</u>	
	16,17	16,30	16,52	16,56	16,62	16,63	16,71	

Les quatre premières formes, tout à fait dominantes, sont celles qui imposent aux cristaux leur forme générale. (010) est clivage parfait, (001) est cité comme clivage imparfait. Les trois premières imposent l'allongement prismatique. Le

<u>(334)</u>	<u>(331)</u>	<u>(313)</u>	<u>(133)</u>	(133)	(313)		
24,30	35,5	36,2	40,2	51,4	69,7		
(140)	(041)	<u>(401)</u>	(410)	(401)	<u>(104)</u>	(014)	(104)
17,89	19,88	26,66	31,2	41,6	56,5	63,1	71,4
<u>(141)</u>	<u>(141)</u>	<u>(411)</u>	(411)	<u>(114)</u>	(114)		
19,90	23,63	27,66	42,6	57,5	72,4		
<u>(241)</u>	<u>(142)</u>	<u>(421)</u>	(241)	<u>(412)</u>	(142)	(421)	<u>(214)</u>
23,71	29,7	30,7	31,2	31,8	37,1	45,6	55,7
				<u>(124)</u>	<u>(412)</u>	<u>(124)</u>	<u>(214)</u>
				60,5	61,7	75,4	85,6
(160)	(061)	<u>(601)</u>	(610)	(601)	<u>(106)</u>	(016)	(106)
37,9	39,9	60,7	69,0	83,1	130,4	140,7	152,8
<u>(370)</u>	(073)	<u>(703)</u>	(730)	(703)	<u>(307)</u>	(037)	(307)
66,0	83,9	88,4	101,6	166,7	168,0	199,1	246,3
<u>(771)</u>	<u>(771)</u>	<u>(717)</u>	(177)	(177)	(717)		
132,4	158,5	192,4	228	254	375		
<u>(271)</u>	<u>(172)</u>	(271)	(172)	<u>(712)</u>	<u>(721)</u>	(721)	(712)
56,7	62,7	64,2	70,1	83,0	87,4	113,5	135,2
				<u>(217)</u>	<u>(127)</u>	<u>(127)</u>	<u>(217)</u>
				172,6	183,9	209	225

Le rapport R est égal à 127 : 17.

On peut remarquer que :

Parmi les formes en 1, 0, 0, (010) domine comme face et comme clivage parfait, (100) et (001) sont à peu près d'égale importance. (001), il est vrai, est signalé comme clivage imparfait et non (100), ce qui, si le fait est exact, constitue une petite anomalie.

Parmi les formes en 1, 1, 0, (110) est nettement dominante, les autres sont moins constantes et moins développées.

Les deux formes en 1, 1, 1 sont communes.

Dans les autres séries, les formes connues sont presque toujours celles de plus grande densité. Sauf une, les anomalies portent uniquement sur des formes sans aucune importance : (201), (401̄), (411̄), (412̄), (601̄), (771), (721̄). Comme partout, l'influence du motif cristallin se fait sentir, mais elle ne devient notable que pour des formes rares, de faible densité réticulaire. L'influence de la densité réticulaire est bien nettement dominante. La seule anomalie notable est celle de la forme (301̄), notation d'ailleurs seulement approximative d'une forme arrondie qui est développée dans certains cristaux, alors que (031), de densité plus grande, n'a pas été signalée.

J'ai laissé de côté les formes (10.19.0) et (19.19.6) comme insuffisamment établies. L'une est d'ailleurs première et l'autre seconde de leurs séries respectives.

Kainite. — Exemple du mode octaédral dans le système clinorhombique, et d'anomalies plus importantes que dans les espèces précédentes, quoique ne masquant pas l'influence dominante de la densité réticulaire.

Paramètres :

$$a : b : c = 1,2187 : 1 : 0,5863, \quad \beta = 85^{\circ}6'.$$

La face (001) est centrée. Les aires se calculent par la formule suivante, où S est à doubler lorsque $p + q$ est impair :

$$S^2 = 0,685p^2 + q^2 + 2,95r^2 + 0,242pr.$$

Classement des formes par aires croissantes jusqu'à $S^2 = 13$:

<u>(110)</u>	<u>(100)</u>	<u>(001)</u>	<u>(010)</u>	<u>(111̄)</u>	<u>(111)</u>	<u>(201̄)</u>	<u>(201)</u>
$S^2 = 1,68$	$2,74$	$2,95$	4	$4,39$	$4,88$	$5,21$	$6,17$

<u>(021)</u>	<u>(310)</u>	<u>(221)</u>	<u>(311)</u>	<u>(130)</u>	<u>(221)</u>	<u>(311)</u>	<u>(131)</u>
6,95	7,16	9,21	9,39	9,68	10,2	10,8	12,4
<u>(131)</u>	<u>(401)</u>						
12,9	12,94						

(110) et (100) sont les clivages nets. Avec elles, (001), (010), (111), (111), puis plus accessoirement (201), (021), (310), complètent la série de toutes les formes de quelque importance. (010), (111), (111) ne sont que des clivages indistincts. Le groupement de ces formes principales est remarquable. La prédominance de (201), (021) sur (101), (011) est notamment caractéristique. La seule anomalie, de quelque importance, est l'absence de (201).

Comparons encore les formes d'égalles caractéristiques :

<u>(100)</u>	<u>(001)</u>	<u>(010)</u>					
S ² = 2,74	2,95	4					
<u>(110)</u>	<u>(101)</u>	<u>(101)</u>	<u>(011)</u>				
1,68	13,6	15,5	15,8				
<u>(111)</u>	<u>(111)</u>						
4,39	4,88						
<u>(201)</u>	<u>(201)</u>	<u>(021)</u>	<u>(210)</u>	<u>(120)</u>	<u>(102)</u>	<u>(012)</u>	<u>(102)</u>
5,21	6,17	6,95	15,0	18,7	48,0	51,2	51,9
<u>(221)</u>	<u>(221)</u>	<u>(212)</u>	<u>(122)</u>	<u>(212)</u>	<u>(122)</u>		
9,21	10,2	58,3	64,0	66,0	67,9		
<u>(310)</u>	<u>(130)</u>	<u>(301)</u>	<u>(301)</u>	<u>(031)</u>	<u>(103)</u>	<u>(013)</u>	<u>(103)</u>
7,16	9,68	33,6	39,4	47,8	106	110	112
<u>(311)</u>	<u>(311)</u>	<u>(131)</u>	<u>(131)</u>	<u>(113)</u>	<u>(113)</u>		
9,39	10,8	12,4	12,9	27,5	28,9		

<u>(223̄)</u>	(223)	(322̄)	(232̄)	(322)	(232)		
31,8	34,7	82,0	90,3	93,7	98,0		
(401̄)	<u>(401)</u>	(041)	(410)	(140)	(104̄)	(014)	(104)
12,9	14,9	18,9	47,8	66,7	188	193	195
(334̄)	<u>(334)</u>	(343̄)	(433̄)	(343)	(433)		
59,5	65,3	158	174	176	198		

Par une anomalie assez singulière, dans la plupart des séries la forme la plus dense n'est pas connue, mais seulement les suivantes. Ce qui n'empêche pas l'influence de la densité réticulaire d'apparaître ici d'une manière particulièrement instructive. Dans chaque série, à partir de la quatrième, les 2, 3 ou 4 dernières formes ont une aire réticulaire subitement beaucoup plus grande que celles des premières. *Aucune* de ces formes n'est connue. L'influence perturbatrice du motif suffit à déterminer des inversions entre formes de densités voisines, mais ces inversions ne se produisent plus lorsque les densités sont trop différentes.

Le rapport R, malgré les anomalies relativement nombreuses, reste très supérieur à l'unité. Il est égal à 47 : 10.

Kieserite. — Exemple d'une espèce pour laquelle la loi de Bravais s'applique exceptionnellement mal lorsqu'on essaie de ranger les faces par ordre de densités réticulaires, et pour laquelle, malgré cela, l'influence de la densité réticulaire apparaît avec une entière évidence dans la comparaison des formes d'égales caractéristiques. La prédominance des octaèdres pseudo-orthorhombiques (111)-(111̄) et (113)-(113̄) ne laisse aucun doute possible quant à la pseudo-symétrie orthorhombique du réseau et à son mode, qui est octaédral comme ceux du soufre, de la lazulite ou de la humite.

Si l'on conserve les axes de Tschermak, il faut centrer toutes les faces de la maille. Paramètres :

$$a : b : c = 0,9147 : 1 : 1,7571; \quad \beta = 89^{\circ}6'.$$

On a

$$S^2 = 1,20p^2 + q^2 + 0,32r^2 + 0,02pr.$$

S est à doubler lorsque p, q, r ne sont pas toutes impaires.

Ici l'ordre des aires réticulaires croissantes présente, comparé aux formes connues, de telles anomalies qu'on pourrait à bon droit douter, à voir la liste suivante, soit de la détermination correcte des paramètres, soit de l'existence même de la loi de Bravais dans ce cas :

$$S^2 = \begin{array}{cccccccc} \underline{(001)} & \underline{(11\bar{1})} & \underline{(111)} & (010) & \underline{(11\bar{3})} & \underline{(113)} & (100) & (011) \\ 1,28 & 2,50 & 2,54 & 4 & 4,02 & 4,14 & 4,80 & 5,28 \\ \underline{(10\bar{1})} & \underline{(101)} & (110) & \underline{(012)} & & & & \\ 6,00 & 6,16 & 8,8 & 9,12 & & & & \end{array}$$

(11 $\bar{1}$) et (11 $\bar{3}$) sont clivages parfaits, (111), (101) et (012) clivages imparfaits, (001) est sans importance. Bref, il y a une concordance plus qu'imparfaite entre les densités réticulaires et l'ordre d'importance des faces, même dès le début de la série.

Mais comparons les formes d'égales caractéristiques :

$$S^2 = \begin{array}{cccccccc} \underline{(001)} & (010) & (100) & & & & & \\ 1,28 & 4 & 4,8 & & & & & \\ \underline{(11\bar{1})} & \underline{(111)} & & & & & & \\ 2,50 & 2,54 & & & & & & \\ \underline{(012)} & \underline{(10\bar{2})} & (102) & (021) & \underline{(20\bar{1})} & (201) & \underline{(120)} & \underline{(210)} \\ 9,12 & 9,76 & 10,1 & 17,3 & 20,3 & 20,6 & 20,8 & 23,2 \end{array}$$

<u>(113)</u>	<u>(113)</u>	(131)	(131)	(311)	(311)
4,02	4,14	10,50	10,54	12,06	12,18
<u>(229)</u>	<u>(229)</u>	<u>(292)</u>	<u>(292)</u>	<u>(922)</u>	<u>(922)</u>
137	140	348	349	408	411
<u>(335)</u>	<u>(335)</u>	<u>(353)</u>	<u>(353)</u>	<u>(533)</u>	<u>(533)</u>
27,5	28,1	38,5	38,9	41,6	42,2

La forme (335) étant sans aucune importance, il n'y a, peut-on dire, aucune anomalie dans ce tableau. (111) et (111), formes dominantes, sont, la première, clivage parfait, la seconde, clivage imparfait. (113) et (113) sont sensiblement de même importance comme formes, mais (113) est clivage parfait, et (113) n'est pas signalée comme clivage.

Impossible, ici encore, de méconnaître l'influence de la densité réticulaire, bien qu'elle soit masquée, quand on prend les formes en bloc, par l'action évidente d'autres facteurs. Le réseau se trouve ainsi, malgré cette circonstance, parfaitement déterminé. Aucun choix des axes, des paramètres et du mode ne saurait d'ailleurs rendre compte, en vertu de la seule densité réticulaire, de l'absence de toutes les formes (010), (100), (110), (011), (101), (101). Il n'y a guère de cas où il apparaisse plus nettement que le facteur densité réticulaire n'est pas le seul dans la détermination des formes et clivages. Il n'y en a guère cependant où son influence soit plus évidente. Cet exemple est, par là, très instructif.

Le rapport R est ici égal à 26 : 1.

Épidote. — Le réseau de l'épidote est extrêmement bien déterminé par la loi de Bravais. Mais les axes habituels sont très mal choisis. Ils ne mettent pas en évidence la pseudosymétrie orthorhombique remarquable du réseau. Avec ces

axes, les paramètres sont

$$a : b : c = 1,5787 : 1 : 1,8036, \quad \beta = 64^{\circ}37',$$

et le mode du réseau est hexaédral. Ces paramètres définissent parfaitement le réseau correct, de même que des axes obliques pourraient servir à définir un réseau orthorhombique. Et tant qu'on n'attribue au mot de réseau aucun sens objectif précis il est indifférent d'adopter ces axes ou d'autres. Lorsqu'on considère, au contraire, le réseau comme étant ce qui doit exprimer les propriétés discontinues du cristal, il est indispensable que la pseudo-symétrie remarquable *de ces propriétés* soit mise en évidence dans le choix des axes, exactement de même qu'on juge indispensable, pour mettre en évidence la symétrie d'un cristal orthorhombique, de choisir des axes rectangulaires qui facilitent le rapprochement des faces symétriques. L'orientation correcte s'obtient en prenant pour axe des x la rangée $[100]$ de la notation ordinaire, pour axe des y $[010]$ et pour axe des z $[102]$, avec les formules de transformation

$$\begin{aligned} p &= -p', \\ q &= q', \\ r &= p' + 2r', \end{aligned}$$

p, q, r caractéristiques nouvelles, p', q', r' caractéristiques ordinaires.

Ce sont les axes de Mallard, mais avec un paramètre c deux fois plus grand. De plus, avec cette orientation, la face (010) est centrée. Les nouveaux paramètres sont

$$1,5787 : 1 : 3,2590, \quad \beta = 89^{\circ}26'.$$

Les formes connues se notent alors :

$$\begin{array}{ccc} \underline{(100)} & \underline{(010)} & \underline{(001)} \\ \underline{(110)} & \underline{(210)} & \underline{(310)} \end{array}$$

<u>(107)</u>	<u>(105)</u>	<u>(103)</u>	<u>(102)</u>	<u>(305)</u>	<u>(101)</u>	<u>(201)</u>	<u>(301)</u>
<u>(1.0.11)</u>	<u>(105)</u>	<u>(103)</u>	<u>(102)</u>	<u>(305)</u>	<u>(101)</u>		<u>(301)</u>
<u>(0.1.12)</u>	<u>(0.1.10)</u>	<u>(016)</u>	<u>(014)</u>	<u>(012)</u>			
<u>(115)</u>	<u>(113)</u>	<u>(111)</u>					
<u>(115)</u>	<u>(113)</u>	<u>(111)</u>	<u>(1.1.13)</u>	<u>(117)</u>			
<u>(151)</u>	<u>(141)</u>	<u>(131)</u>	<u>(121)</u>	<u>(353)</u>	<u>(232)</u>	<u>(212)</u>	
<u>(151)</u>	<u>(323)</u>		<u>(121)</u>			<u>(212)</u>	
	<u>(311)</u>	<u>(733)</u>	<u>(123)</u>	<u>(234)</u>	<u>(412)</u>	<u>(214)</u>	<u>(618)</u>

A la seule inspection de cette liste, on voit que, sur 52-formes, 45 ont $p + r$ pair, et les 7 qui ont $p + r$ impair sont des formes à très petites caractéristiques. Cela caractérise un réseau dans lequel la face xy (010) est centrée.

D'autre part, sur cette liste également, la pseudo-symétrie orthorhombique paraît avec évidence, par l'abondance des groupes de formes pseudo-symétriques, dans chacun desquels, d'ailleurs, les deux formes ont à peu près même importance. Ce sont : (105)-(105), (103)-(103), (102)-(102), (305)-(305), (101)-(101), (301)-(301), (115)-(115), (113)-(113), (111)-(111), (151)-(151), (121)-(121), (212)-(212). Les formes pseudo-symétriques ne manquent que pour les faces très peu importantes. C'est là un point très remarquable sur lequel nous allons revenir.

Classons d'abord les formes par ordre de densités réticulaires décroissantes. On a

$$S^2 = 0,401p^2 + q^2 + 0,094r^2 + 0,004pr.$$

S est à doubler quand $p + r$ est impair.

Classement des formes :

<i>Notation ordinaire :</i>	(001)	(100)	(10 $\bar{1}$)	(010)	(101)	(10 $\bar{2}$)
<i>Notation nouvelle :</i>	<u>(001)</u>	<u>(10$\bar{1}$)</u>	<u>(101)</u>	<u>(010)</u>	<u>(10$\bar{3}$)</u>	<u>(103)</u>
$S^2 =$	0,38	0,49	0,50	1	1,24	1,26
	(011)	(110)	(11 $\bar{1}$)	(20 $\bar{1}$)	(111)	(11 $\bar{2}$)
	<u>(012)</u>	<u>(11$\bar{1}$)</u>	<u>(111)</u>	<u>(100)</u>	<u>(11$\bar{3}$)</u>	<u>(113)</u>
	1,38	1,49	1,50	1,61	2,24	2,26
	(012)	(21 $\bar{1}$)	(102)	(10 $\bar{3}$)	(210)	(21 $\bar{2}$)
	<u>(014)</u>	<u>(210)</u>	<u>(10$\bar{5}$)</u>	<u>(105)</u>	<u>(21$\bar{2}$)</u>	<u>(212)</u>
	2,50	2,61	2,74	2,78	2,97	3,00
	(201)	(20 $\bar{3}$)	(30 $\bar{1}$)	(30 $\bar{2}$)	(112)	(11 $\bar{3}$)
	<u>(10$\bar{2}$)</u>	<u>(102)</u>	<u>(30$\bar{1}$)</u>	<u>(301)</u>	<u>(11$\bar{5}$)</u>	<u>(115)</u>
	3,08	3,15	3,69	3,72	3,74	3,78

Toutes les formes de ce tableau, sans exception, sont connues.

Les quatorze premières sont incontestablement les formes dominantes de l'épidote. Les deux clivages sont en tête, (001) clivage parfait et (10 $\bar{1}$) clivage imparfait. Les trois formes constantes, dont la prédominance donne aux cristaux leur dessin général et détermine notamment l'allongement caractéristique en prismes normaux au plan de symétrie, sont bien (001), (10 $\bar{1}$), (101). Jusque dans le moindre détail, ce classement est absolument parfait. La seule indication des paramètres et du mode renseigne ici d'une manière presque complète et absolue sur les formes et clivages de l'espèce.

Mais le point le plus instructif est le suivant :

Nous avons vu, dans la mériédrie, les formes complémentaires, rigoureusement identiques entre elles quant au ré-

seau, présenter presque la même importance tant que leur densité réticulaire est grande, et mettre en évidence, de plus en plus, l'action perturbatrice de la mériédrie, c'est-à-dire du motif cristallin, lorsque leur densité réticulaire devient de plus en plus faible. Exactement de même ici, où le réseau, sans être rigoureusement symétrique, présente une pseudo-symétrie très approchée, et où il y a, par suite, non pas mériédrie à proprement parler, mais pseudo-mériédrie, toutes les formes de grande densité réticulaire sont accompagnées de leur pseudo-symétrie. Dans chacun de ces groupes de deux formes, les deux faces pseudo-symétriques n'ont pas rigoureusement, mais à très peu près, même aire réticulaire. Elles ont aussi, à très peu près, même importance physique. Presque exactement même importance pour les premiers groupes, dont la densité est maximum et pour lesquels l'influence du facteur « réseau » masque presque complètement celle du facteur « motif », et de moins en moins exactement à mesure qu'on va vers les densités réticulaires moindres. Pour trouver un groupe pseudo-symétrique incomplet, il faut aller jusqu'à la forme $(\underline{31\bar{1}})$, pour laquelle $S^2 = 4,69$. C'est exactement le fait que nous avons constaté, par exemple, pour la tourmaline. On le retrouve dans tous les cas de mériédrie et de pseudo-mériédrie. Lorsque deux directions de plans, *qui peuvent être complètement différentes entre elles quant aux autres propriétés*, sont rigoureusement (mériédrie) ou à peu près (pseudo-mériédrie) identiques quant au réseau, par suite d'une symétrie (exacte ou approchée) de ce réseau que ne possède pas le milieu cristallin, ces deux plans ont à peu près même importance dans les propriétés discontinues, et d'autant plus exactement que leur densité réticulaire est plus grande. Il n'est nullement nécessaire pour cela que le milieu cristallin (motif) possède cette symétrie approchée, mais seulement le réseau. Rien ne met mieux en lumière

l'influence dominante de la seule densité réticulaire dans la détermination des propriétés discontinues.

En ce qui concerne l'épidote, rien, dans les propriétés discontinues, ne permet de dire si l'on doit considérer cette espèce comme ayant, dans sa structure, une pseudo-symétrie orthorhombique. Tout ce qu'elles enseignent, c'est que le *réseau* de cette espèce est pseudo-orthorhombique. Si l'on veut imaginer que le *motif* l'est aussi, ce pourra être pour exprimer d'autres propriétés, par exemple les propriétés optiques qui, on le sait, n'ont d'ailleurs ici aucune pseudo-symétrie de même nature. Dans beaucoup d'autres cas, les propriétés continues ne montrent aucune pseudo-symétrie qui soit d'accord avec celle du réseau. De telles espèces ne sont pas pseudo-symétriques, mais pseudo-mériédres. Leur réseau seul a une pseudo-symétrie qui n'appartient à aucun titre au milieu cristallin, de même que dans la mériédrie le réseau a une symétrie supplémentaire qui n'appartient à aucun degré au milieu cristallin.

La qualification de *pseudo-symétrique* donnée à certaines espèces ne peut donc en aucun cas être justifiée par la considération des formes extérieures, clivages et, en général, propriétés discontinues. La seule notion à laquelle conduit la considération de ces propriétés est celle de *pseudo-mériédrie*, c'est-à-dire de pseudo-symétrie du réseau seul.

On a beaucoup abusé, depuis Mallard, du mot de pseudo-symétrie, et l'on y a mis pêle-mêle toutes sortes de notions diverses, souvent contradictoires. On en est arrivé notamment à qualifier une espèce de pseudo-symétrique lorsqu'en multipliant par des coefficients convenables et arbitraires ses paramètres, eux-mêmes choisis sans règle, on obtient les paramètres d'un réseau pseudo-symétrique. Lorsque des paramètres ainsi choisis ne sont pas ceux que détermine la loi de Bravais, dire qu'une telle espèce est pseudo-symétrique

n'a absolument *aucun sens*. Lorsque ces paramètres sont d'accord avec la loi de Bravais, le cristal n'est pas pour cela pseudo-symétrique, mais seulement son réseau. Le cristal est pseudo-mérièdre. Et si l'on veut l'imaginer pseudo-symétrique, ce ne pourra être en tout cas que pour exprimer des faits étrangers aux paramètres, étrangers par conséquent aux propriétés discontinues.

Je donne encore ci-dessous, pour mieux mettre en lumière l'influence de la densité réticulaire, la comparaison des aires des formes de mêmes caractéristiques dans l'épidote (notation nouvelle) :

$S^2 = \frac{(001)}{0,38}$	$\frac{(010)}{1}$	$\frac{(100)}{1,61}$					
$\frac{(10\bar{1})}{0,49}$	$\frac{(101)}{0,50}$	$\frac{(011)}{4,38}$	$\frac{(110)}{5,61}$				
$\frac{(11\bar{1})}{1,49}$	$\frac{(111)}{1,50}$						
$\frac{(012)}{1,38}$	$\frac{(210)}{2,60}$	$\frac{(102)}{3,08}$	$\frac{(102)}{3,14}$	$\frac{(20\bar{1})}{6,76}$	$\frac{(201)}{6,82}$	$\frac{(021)}{16,4}$	$\frac{(120)}{17,6}$
$\frac{(12\bar{1})}{4,49}$	$\frac{(121)}{4,50}$	$\frac{(11\bar{2})}{7,08}$	$\frac{(112)}{7,14}$	$\frac{(21\bar{1})}{10,76}$	$\frac{(211)}{10,82}$		
$\frac{(21\bar{2})}{2,96}$	$\frac{(212)}{3,00}$	$\frac{(12\bar{2})}{19,08}$	$\frac{(122)}{19,14}$	$\frac{(22\bar{1})}{22,76}$	$\frac{(221)}{22,82}$		
$\frac{(10\bar{3})}{0,76}$	$\frac{(403)}{0,79}$	$\frac{(301)}{3,69}$	$\frac{(301)}{3,71}$	$\frac{(013)}{7,38}$	$\frac{(310)}{18,4}$	$\frac{(031)}{36,4}$	$\frac{(130)}{37,6}$
$\frac{(11\bar{3})}{1,76}$	$\frac{(413)}{1,79}$	$\frac{(31\bar{1})}{4,69}$	$\frac{(311)}{4,71}$	$\frac{(13\bar{1})}{9,49}$	$\frac{(131)}{9,50}$		
$\frac{(12\bar{3})}{5,23}$	$\frac{(423)}{5,26}$	$\frac{(32\bar{1})}{7,69}$	$\frac{(321)}{7,71}$	$\frac{(21\bar{3})}{13,7}$	$\frac{(213)}{13,9}$	$\frac{(31\bar{2})}{19,8}$	$\frac{(312)}{20,0}$
				$\frac{(13\bar{2})}{39,08}$	$\frac{(132)}{39,14}$	$\frac{(23\bar{1})}{42,7}$	$\frac{(231)}{42,8}$

(232̄)	(232)	(223̄)	(223)	(322̄)	(322)		
10,96	11,0	25,7	25,9	31,8	32,0		
(323̄)	(323)	(233̄)	(233)	(332̄)	(332)		
8,42	8,49	45,7	45,9	51,8	52,0		
(014)	(410)	(104̄)	(104)	(401̄)	(401)	(044)	(140)
2,50	7,42	7,56	7,68	26,0	26,1	64,4	65,6
(114̄)	(114)	(141̄)	(141)	(411̄)	(411)		
11,6	11,7	16,49	16,50	30,0	30,1		
(214̄)	(214)	(412̄)	(412)	(124̄)	(124)	(421̄)	(421)
4,08	4,14	7,76	7,82	23,6	23,7	42,0	42,1
				(142̄)	(142)	(241̄)	(241)
				67,08	67,14	70,7	70,8
(234̄)	(234)	(432̄)	(432)	(324̄)	(324)	(423̄)	(423)
12,08	12,14	15,76	15,82	36,3	36,6	44,9	45,2
				(243̄)	(243)	(342̄)	(342)
				73,7	73,9	79,8	80,0
(105̄)	(105)	(501̄)	(501)	(015)	(510)	(051)	(150)
2,73	2,77	10,1	10,14	13,4	44,1	100,4	101,6
(115̄)	(115)	(511̄)	(511)	(151̄)	(151)		
3,73	3,77	11,10	11,14	25,49	25,50		
(305̄)	(305)	(503̄)	(503)	(035)	(530)	(053)	(350)
5,9	6,0	10,8	10,9	45,4	76,1	103,4	114,4
(335̄)	(335)	(533̄)	(533)	(353̄)	(353)		
14,9	15,0	19,8	19,9	29,4	29,5		
(016)	(106̄)	(106)	(610)	(601̄)	(601)	(061)	(160)
4,38	15,0	15,2	15,4	58,0	58,2	144,4	145,6
(107̄)	(107)	(701̄)	(701)	(017)	(710)	(071)	(170)
4,98	5,03	19,7	19,8	22,4	82,6	196,4	197,6

<u>(117)</u>	(117)	(711)	(711)	(171)	(171)		
5,98	6,03	20,7	20,8	49,49	49,50		
(337)	(337)	<u>(733)</u>	(733)	(373)	(373)		
17,1	17,3	29,4	29,6	53,4	53,5		
<u>(618)</u>	(618)	(816)	(816)	(168)	(168)	(861)	(861)
21,3	21,6	29,9	30,2	169,5	169,8	246,9	247,2
				(186)	(186)	(681)	(681)
				271,0	271,2	314,0	314,2
<u>(0.1.10)</u>	(1.0.10)	(1.0.10)	(10.1.0)	(10.0.1)	(10.0.1)	(0.10.1)	
10,4	39,0	39,4	41,1	160,6	160,9	400,4	
						(1.10.0)	
						401,6	
<u>(1.0.11)</u>	(1.0.11)	(11.0.1)	(11.0.1)	(0.1.11)	(11.1.0)	(0.11.1)	
11,7	11,8	48,6	48,7	49,5	198,1	484,4	
						(1.11.0)	
						485,6	
<u>(0.1.12)</u>	(1.0.12)	(1.0.12)	(12.1.0)	(12.0.1)	(12.0.1)	(0.12.1)	
14,54	55,6	55,9	58,7	231,2	231,5	576,4	
						(1.12.0)	
						577,6	
<u>(1.1.13)</u>	(1.1.13)	(13.1.1)	(13.1.1)	(1.13.1)	(1.13.1)		
17,2	17,3	68,8	68,9	169,5	169,5		

Le rapport R est égal à 195 : 24.

Si l'on établissait le même tableau avec la notation habituelle, le rapport R serait égal à 116 : 38. La loi de Bravais ne cesserait pas d'apparaître, mais avec moins de netteté, et partiellement masquée par le choix défectueux des axes (définissant d'ailleurs le même réseau).

On remarquera que :

Parmi les formes en 1, 0, 0, (001) est forme constante et

clivage principal, (010) et (100) formes communes mais moins constantes et non clivages.

Parmi les formes en $1, 0, 0$, $(10\bar{1})$ et (101) sont à peu près de même importance comme formes, mais $(10\bar{1})$ est clivage et non (101) , malgré la très faible différence de leurs aires. (110) est une forme rare, ce qui d'une part ôte toute importance à l'anomalie résultant de l'absence de (011) , et d'autre part montre bien à quels fâcheux résultats on est conduit lorsqu'on s'astreint à prendre pour prisme primitif une forme importante. Ici le prisme primitif, noté $(22\bar{1})$ dans le système d'axes ordinaire, est une forme très peu importante, en raison du mode du réseau. Cela est sans inconvénient. En croyant utile, selon la loi des caractéristiques simples, de donner la notation la plus simple (110) à la forme importante que nous notons $(11\bar{1})$, on a sacrifié les innombrables indications qui se tirent des paramètres tels que nous les avons choisis en vertu de la loi des aires minima. Il y a une foule d'exemples du même fait.

Les deux formes en $1, 1, 1$ sont à peu près également communes, ainsi que le comportent leurs aires à peu près égales. Mais $(11\bar{1})$ est notablement plus constante.

Parmi les formes en $2, 1, 0$, (012) est très commune, (210) encore fréquente, $(10\bar{2})$ et (102) sont déjà plus rares, (201) est rare, ce qui ôte toute importance au fait que $(20\bar{1})$ n'est pas signalée.

$(12\bar{1})$ et (121) sont toutes deux de faible importance. De même $(21\bar{2})$ et (212) .

Parmi les formes en $3, 1, 0$, $(10\bar{3})$ et (103) sont très communes et sensiblement de même importance, $(30\bar{1})$ et (301)

sont plus rares, (310) est rare. L'absence de (013) ne constitue donc pas une anomalie notable.

Parmi les formes en 3, 1, 1, (113) et (113) sont assez communes, et à peu près également. (311) est plus rare, et (131) très rare.

Dans les séries suivantes, (123) et (232) sont des formes sans importance, et il en est de même de toutes celles dont la place n'est pas exactement en tête de leur série : (141), (412), (234), (151), (151), (353), (107), (733).

Zoïsité. — En raison de l'intérêt qui s'attache à la question des rapports entre l'épidote et la zoïsité, je donnerai sommairement ici les faits relatifs au réseau de cette dernière espèce.

Les paramètres classiques sont corrects. Le mode est hexaédral. Paramètres :

$$a : b : c = 0,6196 : 1 : 0,3429.$$

On a

$$S^2 = 0,306p^2 + 0,118q^2 + r^2.$$

Ordre des aires réticulaires croissantes :

<u>(010)</u>	<u>(100)</u>	<u>(110)</u>	<u>(120)</u>	<u>(001)</u>	<u>(011)</u>	<u>(101)</u>	<u>(130)</u>
$S^2 = 0,18$	$0,31$	$0,42$	$0,78$	1	$1,12$	$1,31$	$1,37$
<u>(210)</u>	<u>(111)</u>	<u>(021)</u>	<u>(121)</u>	<u>(031)</u>	<u>(140)</u>		
$1,34$	$1,42$	$1,47$	$1,78$	$2,06$	$2,19$		

(010) est le clivage parfait. Comme formes, (010), (100) et (110) dominant, déterminant l'allongement en prismes parallèles à cette zone. Toutes les formes de quelque importance sont comprises dans la liste ci-dessus. Seule l'absence de (001) est une anomalie notable.

Comparaison des formes d'égales caractéristiques :

<u>(010)</u>	<u>(100)</u>	(001)			
S ² = 0,118	0,306	1			
<u>(110)</u>	<u>(011)</u>	<u>(101)</u>			
0,424	1,12	1,30			
<u>(111)</u>					
1,42					
<u>(120)</u>	<u>(210)</u>	<u>(021)</u>	(201)	(012)	(102)
0,778	1,34	1,47	2,22	4,12	4,31
<u>(121)</u>	<u>(211)</u>	<u>(112)</u>			
1,78	2,34	4,42			
<u>(130)</u>	<u>(031)</u>	<u>(310)</u>	(301)	(013)	(103)
1,37	2,06	2,87	3,75	9,12	9,31
<u>(131)</u>	<u>(311)</u>	<u>(113)</u>			
2,37	3,87	9,42			
<u>(140)</u>	<u>(041)</u>	<u>(410)</u>	<u>(401)</u>	<u>(014)</u>	<u>(104)</u>
2,19	2,89	5,01	5,90	16,1	16,3
<u>(350)</u>	<u>(530)</u>	<u>(053)</u>	<u>(503)</u>	<u>(035)</u>	<u>(305)</u>
5,70	8,71	11,9	16,6	26,1	27,8
<u>(160)</u>	<u>(061)</u>	<u>(610)</u>	<u>(601)</u>	<u>(016)</u>	<u>(106)</u>
4,55	5,25	11,1	12,0	36,1	36,3
<u>(161)</u>	<u>(611)</u>	<u>(116)</u>			
5,55	12,1	36,4			

Le rapport R est égal à 40 : 3. Les anomalies sont insignifiantes et ne portent que sur trois formes sans importance (310), (530) et (061).

(010) est forme principale et clivage parfait, (100) forme commune. (110) est forme constante et très développée, (011) et (101) sont moins développées, mais communes et à peu près d'égale importance entre elles.

(120) et (210) sont communes, (021) plus rare.

Le réseau est par suite extrêmement bien déterminé. Ce n'est pas le lieu de traiter ici de ses rapports avec celui de l'épidote. Il est aisé de voir cependant qu'aucun groupement de l'épidote ne peut donner naissance au réseau de la zoïsite. Il y a entre les deux espèces un véritable rapport de polymorphisme (et probablement de paramorphisme), et non pas un rapport de pseudo-paramorphisme par simple groupement comme celui qu'on est en droit d'admettre, par exemple, entre les pyroxènes clinorhombiques et les pyroxènes orthorhombiques. Ce sont là des faits, entre autres, auxquels il est impossible de donner une expression précise tant qu'on n'adopte pas une définition objective et unique du réseau.

Nous allons trouver dans le cas de l'eudidymite et de l'épididymite un exemple de relation entre deux espèces nettement précisé par la détermination correcte des réseaux conformément à la loi de Bravais.

Eudidymite et Epididymite. — Dans la plupart des cas, et notamment dans les cas examinés ci-dessus, la loi de Bravais ne fait guère que confirmer le choix des axes et paramètres lorsque ceux-ci ont été déterminés raisonnablement selon la loi des caractéristiques simples, de façon à donner aux faces et clivages les plus importants les caractéristiques les plus simples possible. Elle précise le réseau en en faisant connaître le mode, elle conduit parfois à multiplier ou diviser par 2 tel ou tel paramètre, mais guère plus. Il n'en est plus de même lorsque des idées théoriques plus ou moins vagues sur la pseudo-symétrie, sur les macles, sur les relations supposées entre espèces, ont présidé au choix de ces axes et paramètres. Brögger donne, par exemple, pour l'eudidymite (clinorhombique) les paramètres suivants :

$$a : b : c = 1,7107 : 1 : 1,1071; \quad \beta = 86^{\circ} 14'.$$

Le plan de clivage parfait est pris naturellement pour face (001), mais l'axe c est choisi de façon à être à peu près normal à ce plan, l'espèce étant ainsi considérée comme ayant un réseau pseudo-orthorhombique. Or, avec cette notation, il n'existe *pas un seul* groupe de formes pseudo-symétriques, et, de plus, les caractéristiques de presque toutes les formes sont compliquées. Le clivage secondaire, mais encore parfait, est noté (551), et ainsi du reste.

Ni la loi des caractéristiques simples, ni aucun autre fait quelconque ne sont exprimés de cette façon, si ce n'est cette idée, d'ailleurs dépourvue de toute base, que le minéral a une pseudo-symétrie orthorhombique. Voilà un de ces cas où les paramètres donnés ne disent absolument rien sur les faits qu'ils sont destinés à résumer. De tels paramètres sont totalement inutiles et dépourvus de sens.

Il faut ici prendre pour axes a, b, c respectivement les rangées [100], [010], [105] de Brögger, puis diviser le paramètre c nouveau par 3. Les formules de transformation sont :

$$\begin{aligned} p &= -3p', \\ q &= 3q', \\ r &= p' + 5r', \end{aligned}$$

p, q, r caractéristiques nouvelles ; p', q', r' caractéristiques de Brögger.

Les paramètres deviennent :

$$a : b : c = 1,7107 : 1 : 1,8954 ; \quad \beta = 76^{\circ} 16'.$$

Comparaison des notations des formes connues :

Notation Brögger : (001) (551) (10.0.1) (501) (552) (502)

Notation nouvelle : (001) (110) (201) (100) (111) (101)

(111) (557) (558) (010) (310) (0.10.3)

(112) (112) (113) (010) (311) (021)

Les deux formes (557), (558) sont notées en réalité par Brögger (334) et (335), qui correspondraient dans notre notation à (9.9.17) et (9.9.28). Mais les observations sont tout aussi bien représentées par (112) et (113) de notre notation.

On voit que la considération de la simplicité des caractéristiques suffirait à conduire à la nouvelle notation, tant celle de Brögger néglige la loi d'Haüy.

D'autre part, on voit que $p + q$ est pair pour toutes les faces, sauf quelques-unes, de caractéristiques très simples. La base (001) doit donc être centrée. Le réseau plan de la face (001) est pseudo-hexagonal. Il n'y a d'ailleurs rien d'autre de pseudo-hexagonal dans l'eudidymite, comme dans les micas et beaucoup d'autres espèces considérées à tort comme pseudo-sénaires.

On a

$$S^2 = 0,362 p^2 + q^2 + 0,295 r^2 + 0,155 pr,$$

formule où S est à multiplier par 2 lorsque $p + q$ est impair, le réseau étant du mode octaédral avec face (001) centrée.

Classement des formes par aires croissantes (notation nouvelle):

	<u>(001)</u>	<u>(110)</u>	<u>(201)</u>	<u>(100)</u>	<u>(111)</u>	<u>(101)</u>	<u>(201)</u>
$S^2 =$	0,29	1,36	1,43	1,45	1,50	1,81	2,01
	<u>(112)</u>	<u>(112)</u>	<u>(101)</u>	<u>(113)</u>	<u>(010)</u>	<u>(311)</u>	<u>(310)</u>
	2,23	2,85	3,25	3,55	4	4,09	4,26
							<u>(021)</u>
							4,29

Cette liste comprend toutes les formes connues, avec en tête les deux clivages, (001) clivage parfait et forme principale, (110) clivage moins facile et forme la plus importante après (001). Pour les autres formes, l'ordre d'importance est peu définissable, mais leur groupement et le petit nombre de faces manquantes sur la liste sont remarquables pour une espèce aussi rare.

Comparons les formes d'égales caractéristiques :

$S^2 =$	$\frac{(001)}{0,29}$	$\frac{(100)}{1,45}$	$\frac{(\overline{010})}{4}$				
	$\frac{(110)}{1,36}$	$\frac{(\overline{101})}{2,01}$	$\frac{(101)}{3,25}$	$\frac{(011)}{5,18}$			
	$\frac{(\overline{111})}{1,50}$	$\frac{(111)}{1,81}$					
	$\frac{(10\overline{2})}{1,23}$	$\frac{(\overline{201})}{1,43}$	$\frac{(102)}{1,85}$	$\frac{(201)}{2,05}$	$\frac{(\overline{021})}{4,29}$	$\frac{(012)}{8,72}$	$\frac{(210)}{9,83}$
	$\frac{(11\overline{2})}{2,23}$	$\frac{(\overline{112})}{2,85}$	$\frac{(211)}{9,73}$	$\frac{(\overline{211})}{12,2}$	$\frac{(121)}{18,0}$	$\frac{(\overline{121})}{19,2}$	
	$\frac{(\overline{113})}{3,55}$	$\frac{(\overline{311})}{4,09}$	$\frac{(113)}{4,48}$	$\frac{(311)}{5,02}$	$\frac{(\overline{131})}{9,50}$	$\frac{(131)}{9,81}$	

Le rapport R est égal à 29 : 4.

On voit, ici comme partout, combien les paramètres déterminés par la loi de Bravais l'emportent en richesse de signification sur ceux qui sont de mode aujourd'hui. Avec l'indication des paramètres de Brögger, que sait-on sur l'eudidy-mite ? On la croit d'abord pseudo-orthorhombique, ce qui est complètement inexact, car il n'y a pas un seul groupe de formes pseudo-orthorhombiques. Mais après ce renseignement trompeur, on n'en a *aucun autre*. Les paramètres, qui n'ont été imaginés, en définitive, que pour rendre compte des formes, clivages, etc., bref des propriétés discontinues, ne rendent compte de rien du tout. Puisque, avec ces paramètres, Brögger admet comme formes encore importantes des faces dont les caractéristiques atteignent 10, nous savons seulement, je suppose, que les formes existantes sont parmi celles dont les caractéristiques sont inférieures à 10. Il y en a exactement 1937. Les 12 formes connues sont parmi ces 1937,

voilà tout ce que nous font connaître les paramètres ainsi choisis.

Si, au contraire, on me donne les paramètres

$$1,7107 : 1 : 1,8954; \quad \beta = 76^{\circ} 16',$$

en m'avertissant que le mode est octaédral [base (001) centrée], et s'il est entendu que les paramètres sont déterminés conformément à la loi de Bravais, je sais que (001), dont la densité réticulaire est très supérieure à celle de toutes les autres formes, sera la forme très dominante, parallèlement à laquelle les cristaux seront aplatis, et sera probablement clivage parfait; que (110) viendra ensuite, bordant les tables (001) en forme de losange, et sera clivage s'il existe un clivage transversal, et que les 12 formes jusqu'ici connues, si elles ne sont pas exactement celles dont la densité est maximum, sont comprises du moins parmi les premières de la liste établie par densités décroissantes. Ces 12 formes sont, en fait, ici comprises dans la série des 16 formes de densité maximum. Je me tromperai donc de temps en temps en prévoyant, d'après les seuls paramètres, les notations des formes existantes, mais je me tromperai 4 fois sur 16, et seulement pour des formes secondaires, au lieu de 1925 fois sur 1937, comme précédemment, et pour les formes les plus importantes. Ce qui est incontestablement très différent. En adoptant pour l'eudidymite le réseau conforme à la loi de Bravais, je n'exprime pas absolument tout, mais du moins j'exprime beaucoup de choses; tandis qu'en adoptant les paramètres de Brögger je n'exprime aucun fait, mais seulement une *idée* dépourvue de sens, celle d'une pseudo-symétrie qui ne correspondrait à aucun *fait* quelconque.

L'épididymite, qui a, on le sait, la même composition chimique et sensiblement la même densité que l'eudidymite, mais est orthorhombique, passe pour pseudo-sénaire à cause

de son angle *mm* voisin de 60° et de ses macles à 60°. En fait, comme un grand nombre d'autres espèces qui jouissent de ces deux caractères ⁽¹⁾, l'épididymite n'a rien de pseudo-sénaire. Le seul groupe de formes qui présente la pseudo-symétrie hexagonale est (010)-(110), composé de deux formes d'importances très inégales, (010) étant clivage parfait et (110) ne présentant aucun clivage. Le réseau auquel conduit la loi de Bravais est du mode hexaédral, avec les paramètres

$$a : b : c = 0,5758 : 1 : 1,0680.$$

On a

$$S^2 = 3,44 p^2 + 1,14 q^2 + r^2.$$

Classement des formes par aires réticulaires croissantes :

<i>Notation nouvelle :</i>	<u>(001)</u>	<u>(010)</u>	<u>(011)</u>	<u>(100)</u>	<u>(101)</u>	<u>(110)</u>
<i>Notation Dana :</i>	<u>(001)</u>	<u>(010)</u>	<u>(021)</u>	<u>(100)</u>	<u>(201)</u>	<u>(110)</u>
$S^2 =$	1	1,14	2,14	3,44	4,44	4,58
	<u>(012)</u>	<u>(021)</u>	<u>(111)</u>	<u>(102)</u>	<u>(120)</u>	<u>(112)</u>
	<u>(011)</u>	<u>(041)</u>	<u>(221)</u>	<u>(101)</u>	<u>(120)</u>	<u>(111)</u>
	5,14	5,56	5,58	7,44	8,00	8,58
	<u>(121)</u>	<u>(013)</u>	<u>(031)</u>			
	<u>(241)</u>	<u>(023)</u>	<u>(061)</u>			
	9,0	10,1	11,3			

La comparaison des formes d'égales caractéristiques donne (notation nouvelle) :

$S^2 =$	<u>(001)</u>	<u>(010)</u>	<u>(100)</u>
	1	1,14	3,44
	<u>(011)</u>	<u>(101)</u>	<u>(110)</u>
	2,14	4,44	4,58

⁽¹⁾ J'ai montré dans une étude sur les groupements cristallins la raison d'être de ces fréquentes macles à 60°, que l'on interprète à tort comme manifestant une pseudo-symétrie sénaire (*Bull. de la Soc. de l'Industrie minière*, 1904).

<u>(111)</u>					
5,58					
<u>(012)</u>	<u>(021)</u>	(102)	<u>(120)</u>	(201)	(210)
5,14	5,56	7,44	8,00	14,8	14,9
<u>(013)</u>	<u>(031)</u>	(103)	<u>(130)</u>	(301)	(310)
10,1	11,3	12,4	13,7	32,0	32,1
<u>(023)</u>	(032)	(203)	(230)	(302)	(320)
13,6	14,3	22,8	24,0	35,0	35,5
<u>(014)</u>	<u>(041)</u>	(104)	(140)	(401)	(410)
17,1	19,2	19,4	21,7	56,0	56,2
<u>(038)</u>	(083)	(308)	(380)	(803)	(830)
74,3	82,0	95,0	103,9	229,2	230,4

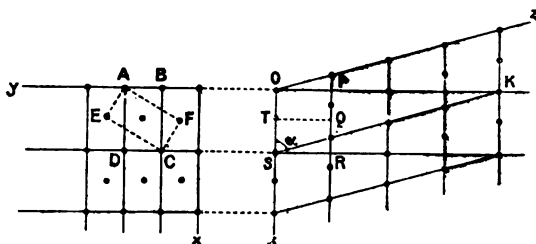
Le rapport R est égal à 31 : 4.

(001) est clivage parfait et face d'aplatissement, (010) vient ensuite, encore clivage parfait, déterminant avec (011) la prédominance de la zone des brachydomes et l'allongement habituel suivant la brachydiagonale. (100) est moins importante.

Dans les autres séries, à part quelques inversions d'un rang, insignifiantes surtout pour une espèce aussi rare, on voit que les formes existantes se groupent bien en tête de chaque série.

Les deux réseaux de l'eudidymite et de l'épididymite sont ainsi parfaitement déterminés. Les paramètres ont maintenant un sens précis. Et il est bien remarquable qu'aussitôt la relation de formes entre les deux espèces, masquée par le choix défectueux des paramètres classiques, devient très simple. Cette relation est ici bien mise en évidence par les accolements connus entre les deux espèces, accolements dans lesquels l'axe a' [100] de l'épididymite est parallèle à la rangée [110] de l'eudidymite, et l'axe b' [010] de l'épidi-

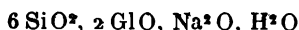
dymite à la rangée [130] de l'eudidymite (*fig. 1*). Dans le plan (001) commun aux deux minéraux, la maille de l'eudidymite est ABCD, avec un nœud au centre; celle de l'épididymite est AFCE, *hexaédrale*.



On peut se demander si l'épididymite orthorhombique ne serait pas simplement le résultat de groupements très fins (pseudo-paramorphiques) de l'eudidymite suivant une loi de macles qui laisserait intacte la maille plane AFCE. La position relative révélée par les accollements, ainsi que les dimensions des deux mailles planes (001) des deux espèces, seraient d'accord avec cette idée. On voit cependant dès maintenant qu'elle est incompatible avec la supposition que le réseau déterminé par la loi de Bravais figure la période du milieu cristallin. Car si l'épididymite était identique à l'eudidymite maculée, sa maille pourrait bien être identique à la maille multiple AFCE de l'eudidymite; mais les nœuds A, F, C, E ne pourraient rester points analogues sans que le nœud central M le restât aussi. Cette maille aurait donc sa face (001) centrée, et l'épididymite aurait un réseau pseudo-sénaire, ce qui n'a pas lieu du tout. Si le réseau ci-dessus défini est bien la période cristalline, les deux espèces sont donc bien deux formes dimorphes d'un même composé, et non deux formes pseudo-paramorphiques comme l'orthose et le microcline par exemple. Les propriétés de la plus symétrique ne peuvent se déduire de celles de la moins symétrique.

Leurs relations n'en sont pas moins remarquables, tant au point de vue de la théorie du polymorphisme qu'à celui de la théorie des groupements d'espèces différentes. Qu'il me soit permis de citer ici un fait caractéristique.

L'Ouvrage de Dana (édition 1903) donne par erreur, pour l'épididymite, la densité 3,548. Partant de ce nombre sans avoir pris la précaution de le contrôler, et admettant pour les deux espèces la même formule



comme correspondant à chaque maille hexaédrale, je calculais les paramètres absolus suivants :

Épididymite :

$$A' = 3,497,$$

$$B' = 6,077,$$

$$C' = 6,490.$$

Eudidymite, rangées qui s'accolent parallèlement aux précédentes :

$$\lambda = 3,899 = \text{AE de la figure, parallèle à } A',$$

$$\mu = 6,795 = \text{AF de la figure, parallèle à } B',$$

$$\nu = 7,246, \text{ équidistance des plans } (001)$$

$$(\text{quart du paramètre de } [104]), \text{ parallèle à } C'.$$

D'où

$$\lambda : A' = 1,115,$$

$$\mu : B' = 1,118,$$

$$\nu : C' = 1,116.$$

D'où serait ressortie cette conclusion singulière : la maille simple de l'épididymite aurait exactement la même forme qu'une des mailles multiples de l'eudidymite, mais contractée en tous sens également, dans le rapport 1,116 : chose invraisemblable, et d'autant plus étrange que l'accrolement devenait alors inexplicable. Tout s'expliquait, au contraire, si les paramètres A' , B' , C' étaient augmentés dans le rapport 1,116, c'est-à-dire le volume moléculaire de l'épididymite

dans le rapport $(1,116)^3 = 1,390$, ou encore la densité de cette espèce diminuée dans le même rapport. Or ce rapport est exactement le rapport $3,55 : 2,55$ des densités attribuées aux deux espèces. Les deux mailles devenaient identiques non plus seulement de formes, mais de dimensions si les deux espèces avaient à très peu près même densité. Je conclus à une erreur sur la densité de l'épididymite, et me proposais d'en refaire la mesure, lorsque, vérification faite, je constatai la faute d'impression du *System of Mineralogy*. La densité de l'épididymite est bien 2,548 et non 3,548. Jointe à la détermination correcte des réseaux, la théorie des groupements d'espèces différentes m'avait conduit à corriger cette erreur matérielle.

En réalité, avec la valeur correcte de la densité, les paramètres absolus des deux espèces, en attribuant une même molécule chimique à la maille hexaédrale, sont :

Eudidymite :

$$\begin{aligned} A &= 6,733, \\ B &= 3,936, \\ C &= 7,459; \\ \lambda &= 3.899, \\ \mu &= 6,795, \\ \nu &= 7,246. \end{aligned}$$

Épididymite :

$$\begin{aligned} A' &= 3,904 \text{ parallèle à } \lambda, \\ B' &= 6,784 \text{ parallèle à } \mu, \\ C' &= 7,245 \text{ parallèle à } \nu; \end{aligned}$$

ce qui, à la fois :

1° Confirme le fait, partout retrouvé, de la quasi-égalité des paramètres absolus des rangées qui se placent parallèlement dans les accollements d'espèces différentes (identité, ou identité à un multiple très simple); cela constitue la théorie des groupements d'espèces différentes, théorie extrêmement remarquable en ce qu'elle établit un lien entre trois ordres

de faits expérimentalement indépendants : mesures d'angles, mesures de densités et analyse chimique ; et théorie aussi qui forme le trait d'union naturel entre celle des macles et celle des syncrystallisations isomorphes ;

2° Établit entre les deux espèces de même composition chimique un lien très simple, de tout point semblable à celui qui relie entre elles deux formes polymorphes susceptibles de passer de l'une à l'autre par voie de transformation paramorphique ;

3° Montre que les deux mailles hexaédrales des deux espèces ont même valeur moléculaire. Comme celle de l'eudidymite a sa base centrée, si l'on admet, par exemple, que le motif simple, correspondant à chaque nœud, répond dans l'eudidymite à la molécule 6 SiO_2 , 2 GlO , Na_2O , H_2O , celui de l'épididymite, pour chaque nœud, correspond à une molécule double 12 SiO_2 , 4 GlO , $2 \text{ Na}_2\text{O}$, $2 \text{ H}_2\text{O}$. La figure résume les relations des deux espèces.

La rangée [104] de l'eudidymite fait avec le plan (001) un angle $\alpha = 89^\circ 18'$. Son paramètre est égal à 4 fois celui de la rangée correspondante OP de l'épididymite.

De cette détermination des réseaux par la loi de Bravais ressort une autre conséquence, relative aux macles de l'eudidymite. L'une, celle qui a pour plan de macle (001), est considérée à tort comme une macle par pseudo-mériédrie simple. Je l'ai admise pour telle, dans mon étude sur les groupements cristallins, faute d'avoir alors découvert, sous les données de Brögger, le réseau correct. Le plan de macle (001) n'a rien d'un plan de pseudo-symétrie du réseau, ni d'ailleurs d'aucune des propriétés du minéral. La macle est un groupement par pseudo-mériédrie réticulaire du type le plus simple. La rangée pseudo-normale au plan de macle est [104], et l'indice de la macle est 2. C'est un groupement

tout à fait identique à la macle (001) de la neptunite et à la macle (001) du natron, et peu différent des macles (100) de la monazite et du borax.

Pour l'autre macle, décrite par Brögger comme ayant pour plan d'accolement et de symétrie un plan non réticulaire qui serait exactement normal à (001) et passerait par l'arête [110], j'ai admis autrefois qu'elle était un des deux ou trois exemples plus ou moins douteux de macles « aberrantes », c'est-à-dire n'ayant ni plan de macle qui soit un plan réticulaire, ni axe de macle qui soit une rangée. Il me semble bien probable aujourd'hui que c'est simplement la détermination fâcheuse des paramètres qui a fait conclure à Brögger que le plan de macle n'est pas un plan réticulaire. En effet, il existe un plan réticulaire qui passe par [110] et fait avec (001) un angle de $89^{\circ}39'$. C'est ($44\bar{1}$). La macle ayant ce plan pour plan de macle a pour indice 4. C'est donc une macle encore simple et comme on en connaît beaucoup d'exemples. Et elle diffère très peu de la macle décrite par Brögger. Seulement, dans la notation Brögger, le plan ($44\bar{1}$) de notre notation a pour caractéristiques (20 20 $\bar{1}$), d'où l'idée toute naturelle qu'il n'est pas un plan réticulaire. Il me paraît infiniment probable que le plan de macle est tout simplement ($44\bar{1}$), et la macle un groupement du type ordinaire, avec l'indice 4. C'est cette macle qu'on pourrait songer à invoquer pour rendre compte de l'épididymite comme groupement pseudo-paramorphique de l'eudidymite. Mais on voit que la maille multiple qu'elle laisse intacte, et qui devrait alors être la maille de l'épididymite, est celle qui a pour base AECF et pour hauteur OK, avec base AECF centrée. Tandis qu'en réalité, dans l'épididymite, la base, qui a bien la forme AECF, n'est pas centrée, et la hauteur est égale non à OK mais au quart OP de cette longueur.

Les deux espèces ont des réseaux multiples simples l'un de l'autre, avec une petitesse remarquable de la déformation de la maille commune en passant de l'une à l'autre. Mais l'une ne peut être considérée comme résultant de simples groupements de l'autre. D'ailleurs les propriétés optiques confirment ce résultat de la loi de Bravais. Celles de l'épididymite [notamment signe —, plan des axes (001)], sont très différentes de celles qu'on calculerait pour un groupement sub-microscopique de l'eudidymite selon la macle ci-dessus [signe optique +, plan des axes (010)].

On remarquera encore que, malgré la relation qui lie les deux espèces, et que la loi de Bravais met sous une forme si simple, elles n'ont à peu près pas de formes communes. Les seules sont (001) des deux espèces, puis (010) de l'eudidymite qui coïncide avec (130) de l'épididymite.

Stéphanite. — Exemple du mode hexaédral rhombique dans le système orthorhombique, avec symétrie pseudo-sénaire du réseau. L'espèce est antihémièdre, mais malgré le très grand nombre de formes connues l'hémiédrisme ne se manifeste pas dans ces formes.

Paramètres :

$$a : b : c = 0,6291 : 1 : 0,6851.$$

Sur une centaine de formes connues, 77 ont $p + q$ pair. Les autres sont, ou bien des formes à caractéristiques très simples, dont l'aire est petite malgré leur $p + q$ impair : (100), (010), (210), (012), (120), (101), (011), (301), (013), (032), (230), (211), (121), (122), (212), qui sont conformes à la loi de Bravais ; ou bien, en très petit nombre, des formes compliquées qui font réellement exception à la loi de Bravais, en admettant que leur existence soit certaine : (071), (0.15.2), (258), (142), (818), (18.5.5), (13.4.4), (161). La face (001) doit donc être centrée. Et en effet avec les paramètres

ci-dessus et la face (001) centrée, le classement des formes par densités décroissantes s'établit comme suit : On a

$$S^2 = 1,185 p^2 + 0,469 q^2 + r^2,$$

où S est à doubler quand $p + q$ est impair.

<u>(001)</u>	<u>(110)</u>	<u>(010)</u>	<u>(111)</u>	<u>(021)</u>	<u>(100)</u>	<u>(130)</u>	<u>(112)</u>
S ² = 1	1,65	1,88	2,65	2,88	4,74	5,41	5,65
<u>(201)</u>	<u>(011)</u>	<u>(131)</u>	<u>(221)</u>	<u>(041)</u>	<u>(101)</u>	<u>(132)</u>	<u>(113)</u>
5,74	5,88	6,41	7,62	8,50	8,74	9,41	10,85
<u>(023)</u>	<u>(310)</u>	<u>(311)</u>	<u>(120)</u>	<u>(150)</u>	<u>(241)</u>	<u>(203)</u>	<u>(151)</u>
10,88	11,1	12,1	12,2	12,9	13,2	13,7	13,9
<u>(133)</u>	<u>(312)</u>	<u>(223)</u>	<u>(331)</u>	<u>(121)</u>	<u>(043)</u>	<u>(152)</u>	<u>(114)</u>
14,4	15,1	15,6	15,9	16,2	16,5	16,9	17,6
<u>(012)</u>	<u>(061)</u>	<u>(322)</u>	<u>(401)</u>				
17,9	17,9	18,9	20,0				

Les 35 premières formes sont toutes connues. Il faut aller jusqu'à la trente-sixième, (401), pour rencontrer une forme non signalée. Dira-t-on que c'est un fait de hasard? Est-ce par hasard que, par exemple, (150) qui figure sur cette liste, est connue, alors que (051), (105), (501), etc., qui n'y figurent pas, ne sont pas signalées? Le même fait étant vrai pour les autres formes à caractéristiques relativement compliquées, il y a là non pas une preuve mais tout un ensemble de preuves à lui seul démonstratif.

On remarquera que (001) est la face la plus constante, parallèlement à laquelle les cristaux sont généralement tabulaires; (110) et (010) forment le prisme pseudo-sénaire et sont à peu près d'égale importance, un peu moindre que celle de (001), car il y a des cristaux tabulaires qui ne montrent pas ce prisme. Le pseudo-isoscéloèdre (111)-(021) vient en-

suite et complète la forme générale des cristaux. Les autres formes sont accessoires. Tout cela se lit immédiatement sur le tableau ci-dessus.

Comparaison des formes d'égales caractéristiques :

<u>(001)</u>	<u>(010)</u>	<u>(100)</u>			
S ² = 1	1,88	4,74			
<u>(110)</u>	<u>(011)</u>	<u>(101)</u>			
1,65	5,88	8,74			
<u>(111)</u>					
2,65					
<u>(021)</u>	<u>(201)</u>	<u>(120)</u>	<u>(012)</u>	<u>(102)</u>	<u>(210)</u>
2,88	5,74	12,2	17,9	20,7	20,8
<u>(112)</u>	<u>(121)</u>	<u>(211)</u>			
5,65	16,2	24,8			
<u>(221)</u>	<u>(122)</u>	<u>(212)</u>	(?)		
7,62	28,2	36,8			
<u>(130)</u>	<u>(310)</u>	<u>(031)</u>	<u>(013)</u>	<u>(103)</u>	<u>(301)</u>
5,41	11,1	20,9	37,9	40,7	46,7
<u>(131)</u>	<u>(113)</u>	<u>(311)</u>			
6,41	10,6	12,1			
<u>(023)</u>	<u>(203)</u>	<u>(032)</u>	<u>(230)</u>	<u>(320)</u>	<u>(302)</u>
10,9	13,7	32,9	35,8	50,2	58,7
<u>(132)</u>	<u>(312)</u>	<u>(231)</u>	<u>(123)</u>	<u>(321)</u>	<u>(213)</u>
9,41	15,1	39,8	48,2	54,2	56,8
<u>(223)</u>	<u>(232)</u>	<u>(322)</u>			
15,6	51,8	66,2			
<u>(133)</u>	<u>(331)</u>	<u>(313)</u>			
14,4	15,9	20,1			
<u>(332)</u>	<u>(233)</u>	<u>(323)</u>			
18,9	71,8	86,2			

<u>(041)</u>	<u>(401)</u>	<u>(140)</u>	<u>(014)</u>	<u>(104)</u>	<u>(410)</u>
8,50	20,0	34,8	65,9	68,7	77,7
<u>(114)</u>	<u>(141)</u>	<u>(411)</u>			
17,6	38,8	81,7			
<u>(241)</u>	<u>(421)</u>	<u>(142)</u>	<u>(124)</u>	<u>(214)</u>	<u>(412)</u>
13,2	21,8	50,8	76,2	84,8	93,7
<u>(043)</u>	<u>(403)</u>	<u>(340)</u>	<u>(034)</u>	<u>(430)</u>	<u>(304)</u>
16,5	28,0	72,7	80,9	92,7	106,7
<u>(134)</u>	<u>(314)</u>	<u>(143)</u>	<u>(341)</u>	<u>(431)</u>	<u>(413)</u>
21,4	27,1	70,8	76,7	96,7	113,7
<u>(243)</u>	<u>(423)</u>	<u>(342)</u>	<u>(234)</u>	<u>(432)</u>	<u>(324)</u>
21,2	29,8	88,7	99,8	108,7	114,2
<u>(441)</u>	<u>(144)</u>	<u>(414)</u>			
27,5	98,8	141,7			
<u>(443)</u>	<u>(344)</u>	<u>(434)</u>			
35,5	136,7	156,7			
<u>(150)</u>	<u>(510)</u>	<u>(051)</u>	<u>(015)</u>	<u>(105)</u>	<u>(501)</u>
12,9	30,1	50,9	101,9	104,7	122,5
<u>(151)</u>	<u>(115)</u>	<u>(511)</u>			
13,9	26,6	31,1			
<u>(152)</u>	<u>(512)</u>	<u>(251)</u>	<u>(125)</u>	<u>(215)</u>	<u>(521)</u>
16,9	34,1	69,9	112,2	120,8	130,0
<u>(225)</u>	<u>(252)</u>	<u>(522)</u>			
31,6	81,9	142,0			
<u>(350)</u>	<u>(530)</u>	<u>(053)</u>	<u>(035)</u>	<u>(305)</u>	<u>(503)</u>
22,4	33,8	82,9	116,9	142,7	154,5
<u>(153)</u>	<u>(351)</u>	<u>(135)</u>	<u>(531)</u>	<u>(315)</u>	<u>(513)</u>
21,9	23,5	30,4	34,8	36,1	39,1
<u>(352)</u>	<u>(532)</u>	<u>(253)</u>	<u>(235)</u>	<u>(325)</u>	<u>(523)</u>
26,4	37,8	101,9	135,8	150,2	162,0

<u>(045)</u>	(405)	(054)	(450)	(540)	(504)
32,5	44,0	110,9	122,7	148,5	182,5
<u>(354)</u>	<u>(534)</u>	<u>(433)</u>	<u>(345)</u>	<u>(543)</u>	<u>(435)</u>
38,4	49,8	158,7	172,7	184,5	192,7
<u>(155)</u>	<u>(551)</u>	<u>(515)</u>			
37,9	42,3	55,1			
<u>(355)</u>	<u>(553)</u>	<u>(535)</u>			
47,4	50,3	58,8			
<u>(554)</u>	<u>(455)</u>	<u>(545)</u>			
57,3	222,7	248,5			
<u>(061)</u>	<u>(601)</u>	<u>(160)</u>	<u>(016)</u>	<u>(106)</u>	<u>(610)</u>
17,9	43,7	72,3	145,9	148,7	172,5
<u>(116)</u>	<u>(161)</u>	<u>(611)</u>			
37,6	76,3	176,5			
<u>(461)</u>	<u>(641)</u>	<u>(164)</u>	<u>(146)</u>	<u>(416)</u>	<u>(614)</u>
36,8	51,2	136,3	178,8	221,7	236,5
<u>(156)</u>	<u>(516)</u>	<u>(165)</u>	<u>(561)</u>	<u>(651)</u>	<u>(615)</u>
48,9	66,1	172,3	190,0	221,5	272,5
<u>(356)</u>	<u>(536)</u>	<u>(365)</u>	<u>(563)</u>	<u>(653)</u>	<u>(635)</u>
58,4	69,8	210,2	222,0	253,5	287,5
<u>(170)</u>	<u>(710)</u>	<u>(071)</u>	<u>(017)</u>	<u>(107)</u>	<u>(701)</u>
24,2	58,5	91,9	197,9	200,7	236,3
<u>(172)</u>	<u>(712)</u>	<u>(271)</u>	<u>(127)</u>	<u>(217)</u>	<u>(721)</u>
28,0	62,5	114,9	208,2	216,8	243,8
<u>(173)</u>	<u>(371)</u>	<u>(137)</u>	<u>(317)</u>	<u>(731)</u>	<u>(713)</u>
33,0	34,6	54,4	60,1	63,3	67,5
<u>(372)</u>	<u>(732)</u>	<u>(273)</u>	<u>(237)</u>	<u>(327)</u>	<u>(723)</u>
37,6	66,3	146,9	231,8	246,2	275,8
<u>(267)</u>	<u>(627)</u>	<u>(276)</u>	<u>(672)</u>	<u>(762)</u>	<u>(726)</u>
70,6	93,5	254,9	279	316	384

(377)	<u>(773)</u>	(737)			
82,6	90,0	111,3			
<u>(081)</u>	(801)	(180)	(018)	(108)	(810)
31,0	76,8	124,8	258	261	305
<u>(281)</u>	(821)	(182)	(128)	(218)	(812)
35,8	78,7	140,8	268	277	321
(285)	(825)	(582)	<u>(258)</u>	(852)	(528)
59,8	102,7	255	321	366	382
(881)	(188)	<u>(818)</u>			
106,9	381	561			
<u>(192)</u>	(912)	(291)	(129)	(219)	(921)
42,2	100,4	174,9	326	345	395
<u>(193)</u>	(391)	(139)	(319)	(931)	(913)
47,2	49,6	86,4	92,1	101,2	105,4
(195)	<u>(591)</u>	(159)	(954)	(519)	(915)
63,2	68,6	93,9	108,7	111,1	121,4
(196)	<u>(916)</u>	(691)	(169)	(961)	(619)
74,2	132,4	327	396	455	496
<u>(2.10.1)</u>	(10.2.1)	(1.10.2)	(1.2.10)	(2.1.10)	(10.1.2)
52,6	121,4	208,3	412	421	492
<u>(3.9.10)</u>	(9.3.10)	(3.10.9)	(9.10.3)	(10.9.3)	(10.3.9)
148,6	200,2	554	607	662	815
<u>(10.10.3)</u>	(3.10.10)	(10.3.10)			
174,4	630	891			
<u>(1.11.0)</u>	(11.1.0)	(0.11.1)	(0.1.11)	(1.0.11)	(11.0.1)
52,8	130,8	210,4	486	489	525
(3.11.9)	(9.11.3)	<u>(3.9.11)</u>	(11.9.3)	(11.3.9)	(9.3.11)
143,2	156,6	169,6	177,3	215,6	221,2
<u>(3.11.3)</u>	(3.3.11)	(11.3.3)			
71,2	135,9	143,6			

<u>(3.11.6)</u>	(11.3.6)	(6.11.3)	(3.6.11)	(11.6.3)	(6.3.11)
98,2	170,6	413	594	625	671
<u>(7.11.9)</u>	(9.11.7)	(7.9.11)	(11.9.7)	(11.7.9)	(9.7.11)
190,6	196,6	217,0	217,3	234,3	240,0
<u>(4.4.13)</u>	<u>(4.13.4)</u>	<u>(13.4.4)</u>			
195,5	457	895			
<u>(3.13.6)</u>	(13.3.6)	(6.13.3)	(3.6.13)	(6.3.13)	(13.6.3)
125,9	240,5	524	786	864	905
<u>(3.13.7)</u>	<u>(7.13.3)</u>	(3.7.13)	(7.3.13)	(13.7.3)	(13.3.7)
138,9	146,3	202,6	231,3	232,2	253,5
<u>(0.14.1)</u>	<u>(14.0.1)</u>	<u>(1.14.0)</u>	<u>(0.1.14)</u>	<u>(1.0.14)</u>	<u>(14.1.0)</u>
92,9	233,3	372	786	789	931

Je laisse de côté les formes très incertaines (0.15.2), (3.15.1), (18.5.5), (2.22.7), (5.15.27), (13.39.40).

Le rapport R est égal à 232 : 25. Sur les 64 séries ci-dessus, 49 sont conformes à la loi. Les 15 qui font exception portent toutes sur des formes sans aucune importance.

Chalcosine. — La loi de Bravais détermine le plus souvent le réseau sans aucune ambiguïté. Il y a cependant des cas où elle laisse subsister une indétermination entre deux solutions peu différentes et également acceptables dans l'état actuel des données. La chalcosine en est un exemple.

Les paramètres ordinaires sont :

$$a : b : c = 0,5822 : 1 : 0,9701;$$

on a alors

$$S^2 = 2,776 p^2 + 0,94 q^2 + r^2.$$

La constance des groupes pseudo-sénaires tels que (110)-

(010), (111)-(021), (112)-(011), (113)-(023) indique nettement que le réseau est pseudo-hexagonal et par suite la base (001) centrée. S est donc à multiplier par 2 quand $p + q$ est impair. L'ordre des formes est alors le suivant :

(001)	(110)	(010)	(111)	(021)	(112)	(011)	(100)
S ² = 1	3,72	3,76	4,72	4,76	7,72	7,76	11,1
(130)	(201)	(131)	(113)	(023)	(101)	(132)	
11,2	12,1	12,2	12,7	12,8	15,1	15,2	

(001) est la forme constante parallèlement à laquelle les cristaux sont généralement aplatis. (110) et (010), d'importance à peu près égale, forment le prisme pseudo-sénaire également constant. (111) et (021), (112) et (011) forment les deux pseudo-isoscéloèdres les plus communs, surtout, semble-t-il, le premier. (100) et (130) sont encore communes.

Par contre, il n'y a pas de clivage parallèle à (001), tandis que (110) est un clivage, indistinct il est vrai. Et d'autre part, après les neuf premières formes, que la densité réticulaire classe bien dans leur ordre d'importance, les anomalies sont assez nombreuses pour les formes secondaires. Le tableau de comparaison des formes de mêmes caractéristiques, qu'il me semble inutile de reproduire ici, indique un rapport R égal à 30:9.

Or il y a une autre solution qui place en tête le clivage (110), tout en conservant à (001) une importance à peu près égale, et diminue les anomalies secondaires en portant le rapport R à 39:4. C'est celle qui consiste à diviser le paramètre c par 2, en conservant les paramètres a et c et le centrage de la base (001). On a alors :

$$S^2 = 0,694 p'^2 + 0,235 q'^2 + r'^2.$$

L'ordre des formes est, en conservant les notations ordinaires :

<u>(110)</u>	<u>(010)</u>	<u>(001)</u>	<u>(112)</u>	<u>(011)</u>	<u>(100)</u>	<u>(130)</u>	<u>(101)</u>
S ² = 0,93	0,94	1	1,93	1,94	2,78	2,81	3,78
			<u>(111)</u>	<u>(021)</u>	<u>(114)</u>	<u>(012)</u>	
			4,72	4,76	4,93	4,94	

(110), clivage, vient en tête, et avec une aire à peu près égale à celle de (010) et (001). A part l'absence de (101), les neuf premières formes se retrouvent classées d'une manière qui n'est guère moins satisfaisante que dans la première solution. D'autre part les anomalies, dans la comparaison des formes d'égales caractéristiques, se réduisent alors à presque rien et ne portent plus que sur deux formes très insignifiantes (052) et (230). Le rapport R devient égal à 39 : 4.

Il y a là un cas d'indétermination que seule une étude plus approfondie de l'espèce pourrait faire cesser. J'en ai rencontré quelques autres et ne donne celui-là qu'à titre d'exemple. Il n'y a d'ailleurs rien de surprenant, ni rien qui puisse servir d'argument contre la loi de Bravais. Il est à remarquer au contraire que la considération du rapport R met en évidence l'influence du facteur *aire réticulaire* même lorsque le réseau adopté n'est pas exactement le meilleur, pourvu qu'il ne s'en écarte pas trop. Multiplier ou diviser un paramètre par 2 n'empêche pas généralement le rapport R de rester très supérieur à l'unité, et, par suite, la considération des aires de rester très supérieure à celle de la simplicité des caractéristiques *même lorsque le réseau adopté n'est pas exactement celui qui répond le mieux à la loi de Bravais*. Dans un prochain travail je ferai connaître, dans la *loi des caractéristiques moyennes*, une preuve de la loi de Bravais qui est presque complètement

indépendante du choix des paramètres. Il y a, dans le fait précité, quelque chose d'analogue.

Wapplérite. — Voici au contraire un des plus remarquables exemples d'application pure et simple, sans aucune ambiguïté, de la loi de Bravais. Le paramètre a de Frenzel doit être divisé par 2, et la face $yz(100)$ centrée. Les paramètres sont alors :

$$a : b : c = 0,4562 : 1 : 0,2660; \quad \beta = 81^{\circ}35'.$$

On a

$$S^2 = 4,85 p^2 + q^2 + 14,26 r^2 + 1,57 pr.$$

S est à multiplier par 2 quand $q + r$ est impair.

Il me paraît intéressant de donner ici la liste complète des formes par densités décroissantes jusque bien au delà de ce qui est nécessaire pour comprendre toutes les 14 formes connues, par exemple jusqu'à $S^2 = 100$. Cette liste est la suivante (notation modifiée) :

$S^2 =$	<u>(010)</u>	<u>(100)</u>	<u>(120)</u>	<u>(011)</u>	<u>(111)</u>	<u>(140)</u>	<u>(111)</u>	<u>(031)</u>
	4	4,85	8,85	15,3	18,5	20,8	21,7	23,3
	<u>(110)</u>	<u>(131)</u>	<u>(131)</u>	<u>(211)</u>	<u>(211)</u>	<u>(031)</u>	<u>(231)</u>	<u>(160)</u>
	23,4	26,5	29,7	31,5	37,8	39,3	39,5	40,8
	<u>(151)</u>	<u>(151)</u>	<u>(231)</u>	<u>(320)</u>	<u>(311)</u>	<u>(130)</u>	<u>(251)</u>	<u>(001)</u>
	42,5	45,7	45,8	47,6	54,2	55,4	55,5	57,0
	<u>(102)</u>	<u>(340)</u>	<u>(231)</u>	<u>(331)</u>	<u>(122)</u>	<u>(071)</u>	<u>(311)</u>	<u>(102)</u>
	58,7	59,6	61,8	62,2	62,7	63,3	63,6	65,0
	<u>(171)</u>	<u>(180)</u>	<u>(122)</u>	<u>(171)</u>	<u>(101)</u>	<u>(331)</u>	<u>(021)</u>	<u>(142)</u>
	66,5	68,8	69,0	69,7	70,2	71,6	73,0	74,7
	<u>(351)</u>	<u>(271)</u>	<u>(142)</u>	<u>(210)</u>	<u>(101)</u>	<u>(271)</u>	<u>(121)</u>	<u>(411)</u>
	78,2	79,5	81,0	81,6	82,7	85,8	86,2	86,4
	<u>(351)</u>	<u>(302)</u>	<u>(431)</u>	<u>(162)</u>	<u>(091)</u>	<u>(322)</u>	<u>(121)</u>	<u>(411)</u>
	87,6	91,3	91,4	91,7	95,3	95,3	98,7	98,9

On remarquera que sur cette liste ne figurent même pas des faces à caractéristiques aussi simples que (012), (112), (11 $\bar{2}$). Au sens de la loi de Bravais, ces faces sont moins importantes que, par exemple, (091), (16 $\bar{2}$), (271), etc. La face (10 $\bar{1}$), qui vient au 37^e rang, et (101), qui vient au 45^e rang, sont moins importantes que (171), (180), (251), etc., (001) elle-même, qui n'est pas connue, est une face sans aucune importance, revenant au 24^e rang, après des formes comme (151), (25 $\bar{1}$), (160), etc. Voilà donc une série aussi dissemblable que possible de celle que suggérerait la loi des caractéristiques simples. Et sur les 14 formes connues, 13 se trouvent précisément en tête de cette liste; une seule, (151), sans importance d'ailleurs, vient après 4 formes non signalées. (010) est le clivage, et en même temps la face d'aplatissement. (100) et (110) complètent le prisme octogonal pseudo-quadratique, bien que le réseau de l'espèce n'ait rien de pseudo-quadratique. (011), (11 $\bar{1}$), (140), (111) paraissent bien être ensuite les formes les plus importantes.

Un tel exemple, qui fournit à lui seul non pas une mais un grand nombre de vérifications de la loi, me semble décisif. Lorsque les paramètres se trouvent être peu différents entre eux et le mode hexaédral, les faces de grande densité réticulaire sont aussi pour la plupart celles qui ont les plus petites caractéristiques. On ne voit pas, comme ici, des faces telles que (001) ou (101) rejetées très loin dans la série des formes de densités décroissantes. Lorsque, au contraire, comme cela a lieu pour la wapplérite, les paramètres sont très différents entre eux et le mode octaédral, il n'y a plus aucun accord entre la simplicité des caractéristiques et la petitesse de l'aire réticulaire. C'est sur de tels exemples qu'il faut juger de la valeur relative de la loi des caractéristiques simples et de la loi des aires minima. L'une nous ferait croire que (001),

(131)	(151)	(311)	(311)	(115)	(115)
42,5	45,7	128,7	144,4	354	370

Le rapport R est égal à 47 : 1.

Les différences d'aires, entre les termes d'une même série, sont ici énormes à cause des grandes différences existant entre les paramètres. Aussi voit-on exister régulièrement, soit la première forme seule de chaque série, soit, lorsque les deux premières ont des aires voisines, ces deux premières. Seule, la dernière série, où manque (151) qui a presque **même** aire que (151), fait une exception absolument insignifiante. Les différences d'aires sont trop **grandes** dans une même série pour que les autres **facteurs** de l'importance des formes suffisent à **inverser** l'ordre des formes, même les moins importantes.

Nous **allons** voir, dans la bournonite et l'apatite, deux **exemples** non moins instructifs du fait exactement inverse.

Bournonite. — La maille de la bournonite est hexaédrale, avec les paramètres

$$a : b : c = 0,9380 : 1 : 0,8969.$$

Ces paramètres sont donc très peu différents. Le réseau est assez peu éloigné du réseau cubique hexaédral.

On a

$$S^2 = 0,914 p^2 + 0,804 q^2 + r^2.$$

Les trois coefficients de cette expression étant peu différents, il y aura peu de différences aussi entre les aires des formes de mêmes caractéristiques. Si le réseau avait exactement la forme cubique, il n'y aurait aucune différence entre ces aires, et, par suite, à égalité de caractéristiques, l'importance des formes serait déterminée par le motif seul, de même que l'est, dans les cas de mériédrie, l'importance relative de deux formes mérièdres complémentaires. Ici, l'on

approche de ce cas limite : les différences faibles entre les aires laisseront le facteur « motif » déterminer presque seul le choix des formes existantes *parmi celles d'égales caractéristiques*. Bien que la loi de Bravais s'applique très nettement à la bournonite lorsqu'on classe tout l'ensemble des formes possibles par ordre de densités décroissantes, elle n'est plus, ou presque plus, apparente dans la comparaison des aires des formes de mêmes caractéristiques. Et l'on voit très nettement pourquoi il en est ainsi. Ce cas, en apparence contraire à la loi, est donc au contraire très démonstratif. Il montre, ce que nous savions de reste, qu'il y a autre chose que l'aire réticulaire dans la détermination de l'importance des formes ; mais que cette « autre chose » ne peut troubler l'ordre d'importance que détermineraient les aires réticulaires que lorsque les différences entre ces aires sont petites. C'est en cela précisément que consiste la loi de Bravais. La comparaison des cas extrêmes de la wapplérite et de la bournonite me semble, pour cette raison, très intéressante.

Classons d'abord toutes les formes jusqu'à $S^2 = 15$:

<u>(010)</u>	<u>(100)</u>	<u>(001)</u>	<u>(110)</u>	<u>(011)</u>	<u>(101)</u>	<u>(111)</u>	<u>(120)</u>
$S^2 = 0,80$	0,91	1	1,72	1,80	1,91	2,72	4,13
<u>(021)</u>	<u>(210)</u>	<u>(201)</u>	<u>(012)</u>	<u>(102)</u>	<u>(121)</u>	<u>(211)</u>	<u>(112)</u>
4,22	4,46	4,66	4,80	4,91	5,13	5,46	5,72
<u>(221)</u>	<u>(122)</u>	<u>(130)</u>	<u>(031)</u>	<u>(212)</u>	<u>(310)</u>	<u>(131)</u>	<u>(301)</u>
7,87	8,13	8,15	8,24	8,46	9,03	9,15	9,23
<u>(013)</u>	<u>(103)</u>	<u>(311)</u>	<u>(113)</u>	<u>(230)</u>	<u>(032)</u>	<u>(320)</u>	<u>(231)</u>
9,80	9,91	10,0	10,7	10,9	11,2	11,4	11,9
<u>(132)</u>	<u>(023)</u>	<u>(302)</u>	<u>(321)</u>	<u>(203)</u>	<u>(312)</u>	<u>(123)</u>	<u>(213)</u>
12,1	12,2	12,2	12,4	12,7	13,0	13,1	13,5
				<u>(140)</u>	<u>(041)</u>	<u>(141)</u>	<u>(232)</u>
				13,8	13,9	14,8	14,9

Les trois formes (010), (100), (001) sont nettement dominantes. Il n'y a pas de clivage net, mais (010) est clivage imparfait, et (100) et (001) clivages plus indistincts encore. A tous les points de vue, ce sont bien les trois formes principales. Non moins nettement, les trois formes (110), (011) et (101) viennent ensuite dans l'ordre d'importance, (110) étant surtout constante. (111), (120), (210) sont très communes; (021) plus rare constitue une première anomalie.

Il y en a quelques autres ensuite, mais dans l'ensemble le classement est bien conforme aux faits. Il est parfait pour les huit premières formes et fixe très exactement le facies général des cristaux.

Comparons maintenant les formes d'égales caractéristiques :

<u>(010)</u>	<u>(100)</u>	<u>(001)</u>			
S ² = 0,81	0,91	1			
<u>(110)</u>	<u>(011)</u>	<u>(101)</u>			
1,72	1,80	1,91			
<u>(111)</u>					
2,72					
<u>(120)</u>	<u>(021)</u>	<u>(210)</u>	<u>(201)</u>	<u>(012)</u>	<u>(102)</u>
4,13	4,22	4,46	4,66	4,80	4,91
<u>(121)</u>	<u>(211)</u>	<u>(112)</u>			
5,13	5,46	5,72			
<u>(221)</u>	<u>(122)</u>	<u>(212)</u>			
7,87	8,13	8,46			
<u>(130)</u>	<u>(031)</u>	<u>(310)</u>	<u>(301)</u>	<u>(013)</u>	<u>(103)</u>
8,15	8,24	9,03	9,23	9,80	9,91
<u>(131)</u>	<u>(311)</u>	<u>(113)</u>			
9,15	10,0	10,7			

<u>(239)</u>	<u>(032)</u>	<u>(320)</u>	<u>(023)</u>	<u>(302)</u>	<u>(203)</u>
10,9	11,2	11,4	12,22	12,23	12,7
<u>(231)</u>	<u>(132)</u>	<u>(321)</u>	<u>(312)</u>	<u>(123)</u>	<u>(213)</u>
11,9	12,1	12,4	13,0	13,1	13,5
<u>(232)</u>	<u>(322)</u>	<u>(223)</u>			
14,9	15,4	15,9			
<u>(332)</u>	<u>(233)</u>	<u>(323)</u>			
19,5	19,9	20,4			
<u>(140)</u>	<u>(041)</u>	<u>(410)</u>	<u>(401)</u>	<u>(014)</u>	<u>(104)</u>
13,8	13,9	15,4	15,6	16,8	16,9
<u>(141)</u>	<u>(411)</u>	<u>(114)</u>			
14,8	16,4	17,7			
<u>(241)</u>	<u>(142)</u>	<u>(421)</u>	<u>(412)</u>	<u>(124)</u>	<u>(214)</u>
17,5	17,8	18,8	19,4	20,1	20,5
<u>(340)</u>	<u>(430)</u>	<u>(043)</u>	<u>(034)</u>	<u>(403)</u>	<u>(304)</u>
21,1	21,9	21,9	23,2	23,6	24,2
<u>(341)</u>	<u>(143)</u>	<u>(431)</u>	<u>(134)</u>	<u>(413)</u>	<u>(314)</u>
22,1	22,8	22,9	24,1	24,4	25,0
<u>(343)</u>	<u>(433)</u>	<u>(334)</u>			
30,1	30,9	31,5			
<u>(441)</u>	<u>(144)</u>	<u>(414)</u>			
28,5	29,8	31,4			
<u>(443)</u>	<u>(344)</u>	<u>(434)</u>			
36,5	37,1	37,9			
<u>(150)</u>	<u>(051)</u>	<u>(510)</u>	<u>(501)</u>	<u>(015)</u>	<u>(105)</u>
20,9	21,1	23,6	23,8	25,8	25,9
<u>(250)</u>	<u>(052)</u>	<u>(520)</u>	<u>(502)</u>	<u>(025)</u>	<u>(205)</u>
23,8	24,1	26,1	26,8	28,2	28,7
<u>(350)</u>	<u>(053)</u>	<u>(530)</u>	<u>(503)</u>	<u>(035)</u>	<u>(305)</u>
28,3	29,1	30,1	31,8	32,2	33,2

(450)	<u>(540)</u>	(054)	(045)	<u>(504)</u>	(405)
34,7	35,7	36,1	37,9	38,8	39,6
<u>(454)</u>	<u>(544)</u>	<u>(445)</u>			
50,7	51,7	52,5			
(553)	<u>(355)</u>	(535)			
51,9	53,3	55,1			
<u>(554)</u>	(455)	(545)			
58,9	59,7	60,7			
<u>(160)</u>	(061)	<u>(610)</u>	(601)	(016)	(106)
29,9	29,9	33,7	33,9	36,8	36,9
<u>(560)</u>	(650)	(065)	(056)	(605)	(506)
51,8	53,0	53,9	56,1	57,9	58,8
(361)	(163)	(631)	(613)	(136)	<u>(316)</u>
38,2	38,9	41,1	42,7	44,1	45,0
<u>(362)</u>	<u>(263)</u>	<u>(632)</u>	<u>(623)</u>	<u>(236)</u>	<u>(326)</u>
41,2	41,6	44,1	45,1	46,9	47,4
(463)	(364)	(643)	(634)	<u>(346)</u>	(436)
52,6	53,2	54,8	56,1	57,1	57,9
<u>(270)</u>	(072)	(720)	(702)	(027)	<u>(207)</u>
43,0	43,4	48,0	48,8	52,2	52,7
(570)	(075)	<u>(750)</u>	(057)	(705)	(507)
62,2	64,4	64,9	69,1	69,8	71,8
<u>(572)</u>	<u>(275)</u>	(752)	(725)	(257)	(527)
66,2	68,0	68,9	73,0	72,8	75,1
(473)	(374)	<u>(743)</u>	(734)	(347)	(437)
63,0	63,6	66,6	68,0	70,1	70,9
<u>(380)</u>	(083)	(830)	(803)	(038)	(308)
59,7	60,5	65,7	67,5	71,2	72,2
<u>(580)</u>	(085)	(50)	(805)	(058)	<u>(508)</u>
74,3	76,5	78,6	83,5	84,1	86,8

(585)	(855)	(558)			
99,3	104	107			
(683)	(386)	(863)	(368)	(836)	(638)
93,4	95,7	96,4	101,2	101,7	104
(685)	(586)	(865)	(856)	(568)	(658)
109	110	112	115	116	117
(780)	(870)	(087)	(078)	(807)	(708)
96,2	97,9	100,4	103	107	109
(885)	(588)	(858)			
135	138	143			
(190)	(091)	(910)	(901)	(019)	(109)
66,0	66,1	74,8	75,0	81,8	81,9
(590)	(095)	(950)	(905)	(059)	(509)
88,0	90,1	94,1	99,0	101,1	104
(790)	(970)	(097)	(079)	(907)	(709)
110	113	114	120	123	126
(595)	(955)	(559)			
113	119	124			
(891)	(981)	(198)	(189)	(918)	(819)
125	126	130	133	139	140
(3.10.0)	(0.10.3)	(10.3.0)	(10.0.3)	(0.3.10)	(3.0.10)
88,6	89,4	98,6	100,4	107,2	108,2
(8.11.0)	(0.11.8)	(11.8.0)	(0.8.11)	(11.0.8)	(8.0.11)
156	161	162	172	175	179

Ce tableau comprend quelques formes incertaines. D'autres, rares ou plus incertaines encore, ont été laissées de côté. Ce sont notamment (10.10.19), (17.17.12), (11.1.11), (7.2.14), (7.4.14), (11.3.4), (6.13.0), (5.16.0), (0.1.14), (20.20.21), (12.12.11), (14.14.11), (17.17.11), (22.11.34), etc. Qu'on tienne compte ou non de ces formes, l'aspect général du

tableau précédent n'est pas changé. Le rapport R, que nous avons trouvé partout très supérieur à l'unité, conformément à la loi de Bravais, est égal à 1 environ (106 : 103 en le limitant aux formes ci-dessus détaillées). A part les premières séries, qui sont complètes ou à peu près, vérifiant ainsi très nettement la loi de Bravais, dans toutes les suivantes c'est au hasard, ou plus exactement en vertu d'influences qui n'ont aucun rapport avec l'aire réticulaire, que les formes connues se distribuent dans les séries. Et l'on comprend bien pourquoi cette fois l'influence de la densité réticulaire n'apparaît pas sous la forme du tableau ci-dessus, lorsqu'on constate que dans la série où la première et la dernière forme présentent les aires les plus différentes, les carrés de ces aires sont seulement dans le rapport 1,24 à 1, c'est-à-dire les aires dans le rapport de 1,11 à 1. Dans la waplérite, ce rapport atteignait 6 à 7 : 1.

Voici un autre exemple du même fait, remarquable en ce que les faibles différences d'aires dans les séries d'égales caractéristiques n'y sont pas dues, comme dans la bournonite, à une pseudo-symétrie du réseau, mais simplement à une valeur particulière du paramètre dans le système sénnaire.

Apatite. — Paramètre $c : a = 0,7346$.

$$S^2 = p^2 + q^2 + r^2 + 2,78s^2.$$

Ordre des aires réticulaires croissantes :

$\frac{(10\bar{1}0)}{2}$	$\frac{(0004)}{2,78}$	$\frac{(10\bar{1}1)}{4,78}$	$\frac{(11\bar{2}0)}{6}$	$\frac{(11\bar{2}1)}{8,78}$	$\frac{(20\bar{2}1)}{10,8}$	$\frac{(10\bar{1}2)}{13,1}$
$\frac{(21\bar{3}0)}{14}$	$\frac{(21\bar{3}1)}{16,8}$	$\frac{(11\bar{2}2)}{17,1}$	$\frac{(30\bar{3}1)}{20,8}$	$\frac{(21\bar{3}2)}{25,1}$	$\frac{(31\bar{4}0)}{26}$	$\frac{(22\bar{4}1)}{26,8}$
$\frac{(10\bar{1}3)}{27,0}$	$\frac{(31\bar{4}1)}{28,8}$	$\frac{(30\bar{3}2)}{29,1}$	$\frac{(11\bar{2}3)}{31,0}$	$\frac{(20\bar{2}3)}{33,0}$	$\frac{(40\bar{4}1)}{34,8}$	$\frac{(31\bar{4}2)}{37,1}$

(32 $\bar{5}$ 0)	(21 $\bar{3}$ 3)	(32 $\bar{5}$ 1)	(41 $\bar{5}$ 0)	(41 $\bar{5}$ 1)
38	39,0	40,8	42	44,8

Les formes nettement dominantes, qui impriment aux cristaux leur facies général, sont bien (10 $\bar{1}$ 0), (0001) et (10 $\bar{1}$ 1), les deux premières dominant comme faces et comme clivages, d'ailleurs imparfaits. L'importance à peu près égale de celles-ci détermine l'allongement modéré en prismes basés. (10 $\bar{1}$ 1) s'y ajoute comme modification presque constante. Les neuf formes suivantes constituent exactement le groupe de formes secondaires les plus communes après les trois formes principales. Pour trouver, dans l'absence de (31 $\bar{5}$ 0), une première anomalie, il faut aller jusqu'au treizième rang de la liste. Les formes qui viennent ensuite sont toutes sans importance. D'autre part nous retrouvons ici le fait déjà signalé dans les autres espèces mériédres (*voir* notamment tourmaline) :

Les sept premières formes, dans l'ordre des densités décroissantes, ne peuvent être affectées par la mériédrie. Pour (21 $\bar{3}$ 0) et (21 $\bar{3}$ 1), c'est-à-dire pour les deux premières formes que la mériédrie dédouble en deux formes complémentaires, ces deux formes complémentaires sont connues. Puis, à partir de là, lorsque le carré de l'aire dépasse 20, il n'existe plus aucune forme dont les deux complémentaires soient connues. Ici, comme partout, l'action perturbatrice du motif, qui détermine une différence d'importance entre les deux demi-formes d'aires réticulaires égales, ne suffit pas à différencier notablement ces deux demi-formes tant que l'aire est petite; elle n'apparaît nettement que pour les faces sans importance dont l'aire est grande.

La loi de Bravais s'applique donc avec une parfaite netteté

à l'apatite et fixe son paramètre sans ambiguïté. Comparons maintenant les formes d'égales caractéristiques p, q, s :

$S^2 =$	$\frac{(10\bar{1}0)}{2}$	$\frac{(0001)}{2,78}$		$\frac{(41\bar{5}1)}{44,8}$	$\frac{(11\bar{2}4)}{50,5}$	
	$\frac{(10\bar{1}1)}{4,78}$	$\frac{(11\bar{2}0)}{6}$		$\frac{(40\bar{4}3)}{57,0}$	$\frac{(30\bar{3}4)}{62,5}$	$\frac{(43\bar{7}0)}{74}$
	$\frac{(11\bar{2}1)}{8,78}$			$\frac{(41\bar{5}3)}{67,0}$	$\frac{(31\bar{4}4)}{70,5}$	$\frac{(43\bar{7}1)}{76,8}$
	$\frac{(20\bar{2}1)}{10,8}$	$\frac{(10\bar{1}2)}{13,1}$	$\frac{(21\bar{3}0)}{14}$	$\frac{(30\bar{5}3)}{75,0}$	$\frac{(30\bar{3}5)}{87,5}$	$\frac{(33\bar{8}0)}{98}$
	$\frac{(21\bar{3}1)}{16,8}$	$\frac{(11\bar{2}2)}{17,1}$		$\frac{(60\bar{6}1)}{74,8}$	$\frac{(61\bar{7}0)}{86}$	$\frac{(10\bar{1}6)}{102}$
	$\frac{(21\bar{3}2)}{25,1}$	$\frac{(22\bar{4}1)}{26,8}$		$\frac{(61\bar{7}1)}{88,8}$	$\frac{(11\bar{2}6)}{106}$	
	$\frac{(30\bar{3}1)}{20,8}$	$\frac{(31\bar{4}0)}{26}$	$\frac{(10\bar{1}3)}{27,0}$	$\frac{(70\bar{7}3)}{123}$	$\frac{(30\bar{3}7)}{154}$	$\frac{(7.3.\bar{1}0.0)}{158}$
	$\frac{(31\bar{4}1)}{28,8}$	$\frac{(11\bar{2}3)}{31,0}$		$\frac{(7.3.\bar{1}0.3)}{183}$	$\frac{(33\bar{6}7)}{190}$	
	$\frac{(30\bar{3}2)}{29,1}$	$\frac{(20\bar{2}3)}{33,0}$	$\frac{(32\bar{5}0)}{38}$	$\frac{(12.1.\bar{1}3.1)}{317}$	$\frac{(1.1.\bar{2}.12)}{406}$	
	$\frac{(31\bar{4}2)}{37,1}$	$\frac{(21\bar{3}3)}{39,0}$	$\frac{(32\bar{5}1)}{40,8}$	$\frac{(12.0.\bar{1}2.5)}{357}$	$\frac{(5.0.\bar{5}.12)}{450}$	$\frac{(12.5.\bar{1}7.0)}{458}$
	$\frac{(40\bar{4}1)}{34,8}$	$\frac{(41\bar{5}0)}{42}$	$\frac{(10\bar{1}4)}{46,5}$	$\frac{(80\bar{8}7)}{264}$	$\frac{(70\bar{7}8)}{276}$	$\frac{(8.7.\bar{1}5.0)}{338}$

On voit que, dès qu'on a dépassé les premières séries, les anomalies deviennent nombreuses. Le rapport R est égal à 16 : 10. Moins voisin de l'unité que dans la bournonite, il est cependant beaucoup moins grand que pour les espèces

ordinaires. Ici encore, comme dans la bournonite, cela tient à ce que les différences d'aires dans chaque série sont faibles. Le rapport des deux aires les plus différentes d'une même série ne dépasse pas 1,13 : 1. Et cela n'est en rapport, dans ce cas, avec aucune pseudo-mériédrie, mais simplement avec une valeur accidentelle du paramètre.

Chalcolite. — A titre d'exemple de la loi simple, je donnerai encore, entre beaucoup d'autres, celui de la chalcolite.

Le réseau est quadratique, du mode octaédral, avec le paramètre

$$c : a = 2,936.$$

On a

$$S^2 = p^2 + q^2 + 0,116r^2,$$

où S est à multiplier par 2 quand $p + q + r$ est impair, le prisme étant centré.

Ordre des aires réticulaires croissantes :

$S^2 =$	<u>(001)</u>	<u>(101)</u>	<u>(110)</u>	<u>(103)</u>	<u>(112)</u>	<u>(114)</u>	<u>(105)</u>	<u>(100)</u>
	0,46	1,12	2	2,04	2,46	3,86	3,90	4
	<u>(211)</u>	<u>(102)</u>	<u>(213)</u>	<u>(116)</u>	<u>(107)</u>	<u>(215)</u>	<u>(111)</u>	<u>(301)</u>
	5,12	5,86	6,04	6,18	6,68	7,90	8,46	9,12
	<u>(118)</u>	<u>(310)</u>						
	9,42	10						

(001) est le clivage micacé parfait. (101) et (110) dominent ensuite. Les autres formes sont accessoires. Mais on remarquera l'existence de (112) et (114) ($p + q + r$ pair) et l'absence de (111) et (113); de même l'existence de (101), (103), (105), même (107) dans la zeunérite, alors que manquent (104) et (106). (102) existe malgré son $p + q + r$ impair, mais son aire la classe encore dans les formes relativement importantes.

Classons les formes d'égales caractéristiques par ordre de densités. Ici les différences d'aires sont grandes, le rapport R sera régi nettement par la loi de Bravais, c'est-à-dire très supérieur à l'unité.

<u>(001)</u>	<u>(100)</u>		<u>(334)</u>	<u>(433)</u>	
S² = 0,46	4		19,9	26,0	
<u>(101)</u>	<u>(110)</u>		<u>(105)</u>	<u>(551)</u>	<u>(510)</u>
1,12	2		3,90	25,1	26
<u>(111)</u>			<u>(107)</u>	<u>(701)</u>	<u>(710)</u>
8,46			6,68	49,1	50
<u>(102)</u>	<u>(201)</u>	<u>(210)</u>	<u>(307)</u>	<u>(703)</u>	<u>(730)</u>
5,86	16,4	20	14,7	50,0	58
<u>(112)</u>	<u>(211)</u>		<u>(207)</u>	<u>(702)</u>	<u>(720)</u>
2,46	5,12		38,7	198	212
<u>(103)</u>	<u>(301)</u>	<u>(310)</u>	<u>(407)</u>	<u>(704)</u>	<u>(740)</u>
2,04	9,12	10	86,7	203	260
<u>(114)</u>	<u>(411)</u>		<u>(3.0.10)</u>	<u>(10.0.3)</u>	<u>(10.3.0)</u>
3,86	17,1		82,4	404	436

Il n'y a aucune anomalie. Le rapport R est égal à 19 : 0. Le cas est à mettre à côté de celui de la wapplérite.

Les quelques exemples qui précèdent, choisis entre beaucoup d'autres tout aussi convaincants, suffiront, je pense, à mettre en évidence d'une manière incontestable que la densité réticulaire est le facteur principal de l'importance des formes cristallines. Ce fait constitue la loi de Bravais. Comme, d'autre part, sur l'influence des autres facteurs, motif et conditions extérieures, nous ne savons absolument rien, rien du moins qui puisse s'exprimer jusqu'ici par des lois précises ; comme ces autres facteurs ne sont que secondaires et ne dé-

terminent généralement que des perturbations peu importantes, souvent insignifiantes dans l'ordre établi en vertu des densités réticulaires; comme enfin la notion de paramètres ou de réseau, qui n'a pour raison d'être que d'exprimer par une image simple les formes cristallines et les lois qui les relient, est restée jusqu'ici une notion métaphysique vague, sans définition objective, il me paraît évident qu'il y a une seule manière rationnelle de donner à ces paramètres ou à ce réseau une définition précise : c'est de convenir qu'ils seront toujours déterminés conformément à la loi de Bravais. A cette seule condition les cristallographes, qui trop souvent aujourd'hui discutent sur des mots non définis, pourront arriver à donner une expression précise à la masse des faits accumulés sans ordre jusqu'ici. Je ne me fais d'ailleurs pas l'illusion que je convaincrai ceux aux yeux de qui un langage sibyllin est un signe de profondeur pour une science.

II. — LES CAS DE DOUBLE PÉRIODE.

Lorsqu'on classe les formes d'une espèce cristalline par ordre de densités réticulaires décroissantes, on rencontre toujours des différences entre cet ordre et celui de l'importance naturelle des formes. Ces anomalies ne portent généralement, nous l'avons vu, que sur des faits secondaires et ne masquent pas l'influence dominante de la densité réticulaire. Mais enfin elles ne manquent jamais.

Lorsque, première condition essentielle, on a mis à part le facteur principal du phénomène en définissant le réseau par la loi de Bravais, on peut chercher à pousser plus loin et à découvrir, à ces anomalies elles-mêmes, des lois. La tâche semble, au premier abord, presque inabordable, tant les anomalies paraissent, dans la plupart des espèces, distribuées au hasard. Voici cependant quelques faits qui me semblent indiquer la voie dans laquelle on doit pousser cette tentative

de seconde approximation. Je laisse encore de côté toute théorie pour ne regarder que les faits.

Coquimbite. — Les clivages imparfaits $(10\bar{1}0)$ et $(10\bar{1}1)$ - $(01\bar{1}1)$, de même que l'ensemble des formes principales, indiquent un réseau sénair. L'espèce n'est ternaire que par mériédrie. Avec le paramètre $c : a = 1,5613$, les aires se calculent par la formule

$$S^2 = p^2 + q^2 + r^2 + 0,615 s^2.$$

L'ordre des densités décroissantes est :

(0004)	$(10\bar{1}0)$	$(10\bar{1}1)$	$(10\bar{1}2)$	$(11\bar{2}0)$	$(11\bar{2}1)$
$S^2 = 0,61$	2	2,61	4,46	6	6,61
$(10\bar{1}3)$	$(11\bar{2}2)$	$(20\bar{2}1)$	$(11\bar{2}3)$	$(10\bar{1}4)$	$(20\bar{2}3)$, etc.
7,53	8,46	8,61	11,5	11,8	13,5

Il n'y a nul doute possible quant à la détermination de ce réseau. (0004) , $(10\bar{1}0)$ et $(10\bar{1}1)$, dont les deux formes complémentaires, $(10\bar{1}1)$ et $(01\bar{1}1)$, sont connues et souvent également développées, constituent bien le groupe de formes dominant, qui détermine le facies général des cristaux. Si l'on voulait imaginer un réseau ternaire, l'ordre des densités serait le suivant :

Not. sénair :	$(10\bar{1}1)$	$(01\bar{1}2)$	(0004)	$(11\bar{2}0)$	$(02\bar{2}1)$
Not. ternaire :	(100)	(110)	(111)	$(10\bar{1})$	$(11\bar{1})$
$S^2 =$	2,61	4,46	5,53	6	8,61
	$(11\bar{2}3)$	$(10\bar{1}4)$	$(21\bar{3}1)$	$(12\bar{3}2)$	$(01\bar{1}3)$
	(210)	(211)	$(20\bar{1})$	$(21\bar{1})$	(221)
	11,5	11,8	14,6	16,5	17,4
	$(10\bar{1}0)$	$(01\bar{1}1)$			
	$(11\bar{2})$	$(22\bar{1})$, etc.			
	18	23,5			

Ce qui n'a évidemment aucun rapport avec l'ordre réel, (112) et (111) étant les formes dominantes, puis (100) et (221). La série établie par le réseau sénair est, au contraire, en parfait accord avec l'ordre naturel des formes principales, et place en tête huit formes connues. La première de celles-ci qui soit affectable par la mériédrie existe sous ses deux demi-formes complémentaires, les suivantes non. C'est la règle habituelle. Tout confirme ainsi le réseau sénair et le paramètre adopté.

Mais, à côté de ces huit formes qu'explique le réseau sénair, on en connaît six autres, toutes accessoires d'ailleurs, qui sont :

$\frac{(30\bar{3}5)}{33,4}$	$\frac{(30\bar{3}2)}{20,5}$	$\frac{(30\bar{3}1)}{18,6}$	$\frac{(03\bar{3}7)}{48,1}$	$\frac{(03\bar{3}4)}{27,8}$	$\frac{(03\bar{3}1)}{18,6}$
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Il est remarquable que d'abord on simplifie toutes les notations de ces formes en multipliant c par 3. Cela suggère qu'elles peuvent être considérées comme déterminées par un réseau autre que celui qui détermine les faces principales. Bien plus, si l'on considère le réseau ternaire (et non plus sénair) dont la forme (0331) est le rhomboèdre primitif, on remarque immédiatement que les notations de toutes ces formes secondaires, rapportées à ce réseau, se simplifient encore, toutes les caractéristiques 4, 5, 7 disparaissant. Leurs notations deviennent :

$\frac{(30\bar{3}5)}{(221)}$	$\frac{(30\bar{3}2)}{(110)}$	$\frac{(30\bar{3}1)}{(22\bar{1})}$	$\frac{(03\bar{3}7)}{(322)}$	$\frac{(03\bar{3}4)}{(211)}$	$\frac{(03\bar{3}1)}{(100)}$
------------------------------	------------------------------	------------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Bien plus encore, si l'on classe les formes de ce nouveau réseau ternaire, dont le paramètre est triple de celui du réseau principal ci-dessus déterminé, par ordre de densités réticulaires, voici ce que l'on obtient :

Not. ternaire :	(111)	(100)	(110)	(211)	(221)	(322)
Not. sénnaire :	(0001)	(0331)	(3032)	(0334)	(3035)	(0337)
	0,61	2,07	2,27	3,09	3,71	5,35

A part (3031), dont le carré de l'aire serait 18,6, les formes accessoires de la coquimbite sont donc justement toutes les formes de plus grande densité dans un réseau ternaire multiple simple du réseau principal.

On trouve ainsi dans la coquimbite l'indication de *deux réseaux multiples simples l'un de l'autre*. L'un, sénnaire, détermine sans ambiguïté les formes principales. Il laisse inexpliquées des formes d'importance tout à fait secondaire. L'autre, dans lequel inversement les formes principales, à part (0001), auraient des aires réticulaires très grandes, est tel que les formes secondaires en question en sont toutes les formes de grande densité.

Ce fait n'est pas isolé. J'en connais dès maintenant un assez grand nombre d'exemples. J'en donnerai plus loin quelques-uns des plus nets. On conçoit d'ailleurs qu'il soit parfois difficile à mettre en évidence. Il apparaît, comme dans le cas de la coquimbite, avec une extrême netteté lorsque les deux réseaux sont très différents par leurs paramètres et leur mode. Il n'en est plus de même lorsque les différences sont faibles. Au surplus, je ne prétends pas que le fait soit général. Il est bien évident aussi qu'on ne peut espérer y trouver l'explication de toutes les anomalies de la loi de Bravais. Ici, par exemple, la forme (3031), seule il est vrai, reste inexpliquée. Encore peut-on se demander si elle est bien certaine : une erreur matérielle, ou encore la macle habituelle des cristaux ternaires, pourraient l'avoir fait confondre avec (0331). Mais, ce qui est plus évident, le réseau secondaire ternaire ne peut en aucune façon rendre compte de la différence qu'introduit la

mériédrie entre les formes $(10\bar{1}1)$ et $(01\bar{1}1)$, ou $(10\bar{1}2)$ et $(01\bar{1}2)$, ou $(10\bar{1}3)$ et $(01\bar{1}3)$. Car dans chacun de ces groupes, les deux demi-formes se trouvent précisément avoir même aire dans le réseau ternaire secondaire [dans le réseau ternaire, toute forme (ghk) pour laquelle $g + h + k$ est multiple de 3 a même aire réticulaire que sa forme birhomboédrique; il est aisé de voir que les formes en question sont dans ce cas]. Il ne faut donc pas compter sur le réseau secondaire pour rendre compte de *tout* ce qui, dans les formes, n'est pas expliqué par le réseau principal. Le fait n'en est pas moins remarquable. Peut-être sera-t-il utile, pour le bien mettre en évidence, de donner encore les deux tableaux suivants. Ce sont les classements des formes des deux réseaux par ordre de densités, poussés jusqu'à la dernière forme connue, et dans lesquels chaque forme est accompagnée du coefficient k par lequel il faut multiplier son aire réticulaire pour obtenir l'aire qu'elle a dans l'autre réseau.

Voici d'abord le classement relatif au réseau sénaire principal :

(0004)	$(10\bar{1}0)$	$(10\bar{1}1)$	$(10\bar{1}2)$	$(11\bar{2}0)$	$(11\bar{2}1)$	$(10\bar{1}3)$
$S^2 = 0,61$	2	2,61	4,46	6	6,61	7,54
$k = 1$	3	3	3	1	1	3
$(11\bar{2}2)$	$(20\bar{2}1)$	$(11\bar{2}3)$	$(10\bar{1}4)$	$(20\bar{2}3)$	$(21\bar{3}0)$	
8,46	8,61	11,5	11,8	15,3	14	
1	3	1	3	3	3	
$(21\bar{3}1)$	$(11\bar{2}4)$	$(21\bar{3}2)$	$(10\bar{1}5)$	$(30\bar{3}1) - (03\bar{3}1)$		
14,6	15,8	16,5	17,4	18,6		
3	1	3	3	1	$\frac{1}{3}$	
$(21\bar{3}3)$	$(30\bar{3}2) - (03\bar{3}2)$	$(11\bar{2}5)$	$(20\bar{2}5)$	$(21\bar{3}4)$		
19,5	20,5	21,4	23,4	23,8		
3	$\frac{1}{3}$	1	3	3		

(10 $\bar{1}$ 6) (22 $\bar{4}$ 1) (31 $\bar{4}$ 0) (31 $\bar{4}$ 1) (30 $\bar{3}$ 4) - (03 $\bar{3}$ 4)

24,1 24,6 26 26,6 27,8
3 1 3 3 1 $\frac{1}{3}$

(11 $\bar{2}$ 6) (31 $\bar{4}$ 2) (21 $\bar{3}$ 5) (22 $\bar{4}$ 3) (31 $\bar{4}$ 3) (10 $\bar{1}$ 7)

28,1 28,5 29,4 29,5 31,5 32,1
1 3 3 1 3 3

(40 $\bar{4}$ 1) (30 $\bar{3}$ 5) - (03 $\bar{3}$ 5) (31 $\bar{4}$ 4) (11 $\bar{2}$ 7) (21 $\bar{3}$ 6)

32,6 33,4 35,8 36,1 36,1
3 $\frac{1}{3}$ 1 3 1 3

(40 $\bar{4}$ 3) (32 $\bar{5}$ 0) (20 $\bar{2}$ 7) (32 $\bar{5}$ 1) (22 $\bar{4}$ 5) (32 $\bar{5}$ 2)

37,5 38 38,1 38,6 39,4 40,5
3 3 3 3 1 3

(10 $\bar{1}$ 8) (31 $\bar{4}$ 5) (41 $\bar{5}$ 0) (41 $\bar{5}$ 1) (32 $\bar{5}$ 3) (21 $\bar{3}$ 7)

41,4 41,4 42 42,6 43,5 44,1
3 3 1 1 3 3

(41 $\bar{5}$ 2) (11 $\bar{2}$ 8) (40 $\bar{4}$ 5) (41 $\bar{5}$ 3) (32 $\bar{5}$ 4) (30 $\bar{3}$ 7) - (03 $\bar{3}$ 7)

44,5 45,4 47,4 47,5 47,8 48,1
1 1 3 1 3 1 $\frac{1}{3}$

Dans cette liste, on distingue trois séries de formes :

1° Dans la première, jusqu'à (10 $\bar{1}$ 3) incluse, toutes les formes existent, quel que soit leur coefficient k . Le réseau secondaire ne fait pas sentir son action.

2° Dans la seconde, de (11 $\bar{2}$ 2) à (03 $\bar{3}$ 1) incluse, les formes dont le coefficient est 3 n'existent pas. Sont seules connues celles dont le coefficient est 1 ou $\frac{1}{3}$. Mais nous trouvons là l'anomalie déjà signalée relative à (30 $\bar{3}$ 1), dont le coefficient est 1 et qui existe, alors que (11 $\bar{2}$ 3) et (11 $\bar{2}$ 4), de même coefficient et d'aire inférieure, ne sont pas signalées.

3° Au delà, n'existent plus que les formes dont le coeffi-

cient est $\frac{1}{3}$, et elles existent *toutes*. Sous cette forme, il semble bien évident que le triage de ces quelques formes parmi les nombreuses autres intercalées n'est pas un effet du hasard, et que le réseau secondaire en donne bien la clef.

Inversement, classons les plans réticulaires du réseau secondaire ternaire par ordre de densités décroissantes :

Notation ternaire :	<u>(111)</u>	<u>(100)</u>	<u>(110)</u>	<u>(211)</u>	<u>(221)</u>
Notation sénaire :	<u>(0001)</u>	<u>(03$\bar{3}$4)</u>	<u>(30$\bar{3}$2)</u>	<u>(03$\bar{3}$4)</u>	<u>(30$\bar{3}$5)</u>
S ² =	0,61	2,07	2,27	3,09	3,71
k =	1	3	3	3	3
	<u>(322)</u>	<u>(10$\bar{1}$)</u>	<u>(332)</u>	<u>(210)</u>	<u>(11$\bar{1}$)</u>
	<u>(03$\bar{3}$7)</u>	<u>(11$\bar{2}$0)</u>	<u>(30$\bar{3}$8)</u>	<u>(11$\bar{2}$1)</u>	<u>(60$\bar{6}$1)</u>
	5,35	6	6,38	6,61	8,07
	3	1	3	1	3
	<u>(321)</u>	<u>(433)</u>	<u>(311)</u>	<u>(443)</u>	<u>(331)</u>
	<u>(11$\bar{2}$2)</u>	<u>(0.3.$\bar{3}$.10)</u>	<u>(06$\bar{6}$5)</u>	<u>(3.0.$\bar{3}$.11)</u>	<u>(60$\bar{6}$7)</u>
	8,46	8,84	9,71	10,3	11,3
	1	3	3	3	3
:	<u>(432)</u>	<u>(544)</u>	<u>(20$\bar{1}$)</u>	<u>(21$\bar{1}$)</u>	<u>(310)</u>
	<u>(11$\bar{2}$3)</u>	<u>(0.3.$\bar{3}$.13)</u>	<u>(36$\bar{9}$1)</u>	<u>(63$\bar{9}$2)</u>	<u>(36$\bar{9}$4)</u>
	11,5	13,3	14,1	14,3	15,1
	1	3	3	3	3
	<u>(554)</u>	<u>(320)</u>	<u>(543)</u>	<u>(533)</u>	<u>(421)</u>
	<u>(3.0.$\bar{3}$.14)</u>	<u>(63$\bar{9}$5)</u>	<u>(11$\bar{2}$4)</u>	<u>(0.6.$\bar{6}$.11)</u>	<u>(36$\bar{9}$7)</u>
	15,4	15,7	15,8	16,3	17,3
	3	3	1	3	3
	<u>(11$\bar{2}$)</u>	<u>(431)</u>	<u>(22$\bar{1}$)</u>	<u>(655)</u>	<u>(553)</u>
	<u>(10$\bar{1}$0)</u>	<u>(63$\bar{9}$8)</u>	<u>(30$\bar{3}$1)</u>	<u>(0.3.$\bar{3}$.16)</u>	<u>(6.0.$\bar{6}$.13)</u>
	18	18,4	18,6	19,5	19,6
	$\frac{1}{3}$	3	1	3	3

(411)	(532)	(654)	(655)	(542)
(03 $\bar{3}$ 2)	(3.6.9.10)	(11 $\bar{2}$ 5)	(3.0. $\bar{3}$.17)	(6.3.9.11)
20,5	20,8	21,4	21,8	22,3
1	3	1	3	3
(441)	(522)			
(10 $\bar{1}$ 1)	(01 $\bar{1}$ 1)			
23,5	23,5			
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$			

, etc.

Suivent 33 formes pour lesquelles $k = 3$ ou 1, puis :

(774)	(855)
(10 $\bar{1}$ 2)	(01 $\bar{1}$ 2)
40,1	40,1
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$

, etc.

Suivent 78 formes pour lesquelles $k = 3$ ou 1, puis :

(10.10.7)	(11.8.8)
(10 $\bar{1}$ 3)	(01 $\bar{1}$ 3)
67,8	67,8
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$

Comme tout à l'heure, on distingue dans cette liste trois zones :

1° Jusqu'à (03 $\bar{3}$ 7) incluse, toutes les formes existent. Ce sont toutes les formes secondaires qui sont sans importance dans le réseau principal, à part (0001) qui est commune aux deux réseaux.

2° De (11 $\bar{2}$ 0) à (60 $\bar{6}$ 7) incluse, les formes pour lesquelles $k = 3$ sont inconnues; seules existent celles pour lesquelles $k = 1$, et elles existent toutes.

3° Au delà, sur un nombre énorme de formes, existent exclusivement celles pour lesquelles $k = \frac{1}{3}$. La seule exception, ici encore, est (30 $\bar{3}$ 1). A part cette anomalie unique, on voit

avec quelle netteté le double réseau trie, parmi les 152 formes du tableau ci-dessus, les 15 formes connues.

En résumé, on voit que, dans la coquimbite, les formes secondaires dont le réseau principal ne rend pas compte en vertu de la loi de Bravais dépendent nettement, en vertu de la même loi, d'un réseau secondaire qui est un multiple simple du réseau principal.

Nous allons trouver dans la leadhillite un autre exemple du même fait.

Leadhillite. — Les formes principales dépendent avec la plus parfaite évidence d'un réseau pseudo-sénaire, avec les paramètres

$$a : b : c = 1,7476 : 1 : 2,2154, \quad \beta = 89^\circ 48'.$$

La face $xy(001)$ est centrée. On a donc

$$S^2 = 0,327p^2 + q^2 + 0,204r^2 + 0,002pr,$$

où S est à multiplier par 2 quand $p + q$ est impair.

Le classement par aires croissantes est le suivant :

$$\begin{array}{l} \frac{(001)}{0,20} \quad \frac{(100)}{1,31} = \frac{(110)}{1,33} \quad \frac{(201)}{1,51} - \frac{(201)}{1,52} = \frac{(111)}{1,53} - \frac{(111)}{1,53} \\ \frac{(101)}{2,12} - \frac{(101)}{2,13} = \frac{(112)}{2,14} - \frac{(112)}{2,15} \quad \frac{(203)}{3,13} - \frac{(203)}{3,16} = \frac{(113)}{3,16} - \frac{(113)}{3,17} \\ \frac{(310)}{3,94} = \frac{(010)}{4} \quad \frac{(311)}{4,14} - \frac{(311)}{4,15} = \frac{(021)}{4,20} \\ \frac{(102)}{4,56} - \frac{(102)}{4,59} = \frac{(114)}{4,58} - \frac{(114)}{4,60} \quad \frac{(312)}{4,75} - \frac{(312)}{4,77} = \frac{(011)}{4,82} \\ \frac{(401)}{5,43} - \frac{(401)}{5,44} = \frac{(221)}{5,51} - \frac{(221)}{5,52} \end{array}$$

Le signe - réunit les groupes pseudo-orthorhombiques, et le signe = les groupes pseudo-sénaires.

Toutes les formes importantes sont en tête, et parfaitement classées. (001) est la forme principale, parallèlement à laquelle les cristaux s'aplatissent, et clivage parfait. Le prisme pseudo-sénaire (100) - (110) vient ensuite comme forme constante, (100) étant en outre clivage imparfait. Puis le pseudo-isoscéloèdre (201̄) - (201) = (111̄) - (111) et le pseudo-isoscéloèdre (101̄) - (101) = (112̄) - (112). Les formes plus rares (203), (113), (310), (010) viennent ensuite, les deux premières constituant le premier des deux isoscéloèdres qui soit affecté par la pseudo-mériédrie, conformément à sa moindre densité réticulaire. Tous ces faits confirment sans aucun doute possible que les formes principales sont déterminées par le réseau pseudo-sénaire. Mais, à côté des formes qui figurent au tableau ci-dessus, on en connaît 21 autres dont la densité est moindre que celle de (401), et que la loi de Bravais appliquée au réseau pseudo-sénaire n'explique pas. Ce sont :

<u>(012)</u>	<u>(210)</u>	<u>(212̄)</u> - <u>(212)</u>	<u>(302)</u>	<u>(014)</u>	<u>(410)</u>	<u>(214)</u>
7,26	9,23	12,5	12,5	15,1	17,1	24,9
<u>(412)</u>	<u>(034)</u>	<u>(430)</u>	<u>(414̄)</u> - <u>(414)</u>	<u>(434̄)</u> - <u>(434)</u>	<u>(612)</u>	
28,3	49,1	56,9	37,9	38,1	69,9	70,1
			<u>(418)</u> - <u>(418̄)</u>	<u>(4112̄)</u>	<u>(814̄)</u>	<u>(474̄)</u>
			77,4	76,9	142	100,5
						230

Les formes (436̄) et (477̄) sont laissées de côté comme douteuses. Il est impossible de n'être pas frappé du fait que toutes ces notations des formes secondaires se simplifient à la fois si l'on multiplie le paramètre *b* par 4. C'est exactement le même fait que dans la coquimbite. Ces formes secondaires révèlent ici un réseau du mode hexaédral, dans lequel le

paramètre b du réseau principal est multiplié par 4, et qui a, par suite, les paramètres

$$a' : b' : c' = 0,4369 : 1 : 0,5539, \quad \beta = 89^{\circ}48'.$$

Dans ce réseau, on a

$$S^2 = 5,232 p'^2 + q'^2 + 3,264 r'^2 + 0,032 p' r'.$$

Classons les plans réticulaires de ce second réseau par ordre de densités :

$(pqr) =$	<u>(010)</u>	<u>(001)</u>	<u>(014)</u>	<u>(100)</u>	<u>(410)</u>	<u>(012)</u>	<u>(101̄)</u>
$(p'q'r') =$	<u>(010)</u>	<u>(001)</u>	<u>(011)</u>	<u>(100)</u>	<u>(110)</u>	<u>(021)</u>	<u>(101̄)</u>
$S^2 =$	1	3,26	4,26	5,23	6,23	7,26	8,46
	<u>(101)</u>	<u>(210)</u>	<u>(414̄)</u>	<u>(414)</u>	<u>(034)</u>	<u>(212̄)</u>	<u>(212)</u>
	<u>(101)</u>	<u>(120)</u>	<u>(111̄)</u>	<u>(111)</u>	<u>(031)</u>	<u>(121̄)</u>	<u>(121)</u>
	8,53	9,23	9,46	9,53	12,3	12,5	12,5
	<u>(018)</u>	<u>(430)</u>	<u>(434̄)</u>	<u>(434)</u>	<u>(102̄)</u>	<u>(102)</u>	<u>(011)</u>
	<u>(012)</u>	<u>(130)</u>	<u>(131̄)</u>	<u>(131)</u>	<u>(102̄)</u>	<u>(102)</u>	<u>(041)</u>
	14,1	14,2	17,5	17,5	18,2	18,3	19,3
	<u>(418̄)</u>	<u>(418)</u>	<u>(110)</u>	<u>(810)</u>	<u>(038)</u>	<u>(214̄)</u>	<u>(214)</u>
	<u>(112̄)</u>	<u>(112)</u>	<u>(140)</u>	<u>(210)</u>	<u>(032)</u>	<u>(122̄)</u>	<u>(122)</u>
	19,3	19,3	21,2	21,9	22,1	22,2	22,3
	<u>(201̄)</u>	<u>(201)</u>	<u>(111̄)</u>	<u>(111)</u>	<u>(814̄)</u>	<u>(814)</u>	<u>(438̄)</u>
	<u>(201̄)</u>	<u>(201)</u>	<u>(141̄)</u>	<u>(141)</u>	<u>(211̄)</u>	<u>(211)</u>	<u>(132̄)</u>
	24,1	24,3	24,5	24,5	25,1	25,3	27,2
					<u>(438)</u>	<u>(412̄)</u>	<u>(412)</u>
					<u>(132)</u>	<u>(221̄)</u>	<u>(221)</u>
					27,3	28,1	28,3

Les formes (010), (001), (100), (101̄), (101), importantes dans le réseau principal, le sont aussi dans ce réseau

secondaire. Mais à côté d'elles (014), (410), (012), (210), (414̄), (414), (034), (212̄), (212), (430), (434̄), (434), qui se classent en tête de la liste ci-dessus, sont justement 12 des formes secondaires, sans importance dans le réseau principal. (418̄), (418), (214), (814̄), (412), sans être exactement les plus denses après celles-ci, sont cependant encore des formes relativement importantes du réseau secondaire hexaédral. De même, à un degré moindre, (4.1.12) et (474) qui, par leurs caractéristiques p, r multiples de 4, dépendent évidemment du réseau secondaire.

Ainsi, dans le cas de la leadhillite comme dans celui de la coquimbite, on observe en résumé :

Un réseau principal, qui classe parfaitement et sans aucune ambiguïté toutes les formes importantes; il est pseudo-sénaire; et un réseau secondaire pseudo-orthorhombique du mode hexaédral, nullement pseudo-sénaire, mais multiple simple du précédent, dont tous les plans réticulaires de grande densité sont précisément des formes secondaires connues, qui, dans le réseau principal, se classeraient très loin et seraient complètement inexplicables par la loi de Bravais.

Établissons, comme nous l'avons fait plus haut pour d'autres espèces, le tableau comparatif des aires réticulaires des formes de mêmes caractéristiques. Le coefficient k est, comme précédemment, celui par lequel il faut multiplier l'aire de chaque forme dans le réseau principal pour obtenir l'aire qu'elle présente dans le réseau secondaire :

<u>(004)</u>	<u>(100)</u>	<u>(010)</u>	
$S^2 = 0,20$	1,31	4	
$k = 4$	2	$\frac{1}{2}$	
<u>(110)</u>	<u>(101̄)</u>	<u>(101)</u>	<u>(011)</u>
1,33	2,12	2,13	4,82
4	2	2	2

$$\frac{(11\bar{1})}{1,53} - \frac{(111)}{1,53}$$

$$\frac{4}{4}$$

$$\frac{(20\bar{1})}{1,51} - \frac{(201)}{1,52} \quad (021) \quad \frac{(10\bar{2})}{4,56} - \frac{(102)}{4,59} \quad \frac{(012)}{7,26} \quad \frac{(210)}{9,23} \quad (120)$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{2}{2}$$

$$\frac{(11\bar{2})}{2,14} - \frac{(112)}{2,15} \quad \frac{(21\bar{1})}{10,0} - \frac{(211)}{10,1} \quad \frac{(12\bar{1})}{18,1} - \frac{(121)}{18,1}$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2}$$

$$\frac{(22\bar{1})}{5,51} - \frac{(221)}{5,52} \quad \frac{(21\bar{2})}{12,5} - \frac{(212)}{12,5} \quad \frac{(12\bar{2})}{20,6} - \frac{(122)}{20,6}$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2}$$

$$\frac{(20\bar{3})}{3,13} - \frac{(203)}{3,16} \quad (023) \quad \frac{(30\bar{2})}{15,0} - \frac{(302)}{15,1} \quad (320) \quad (032) \quad (230)$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{1}$$

$$\frac{(310)}{3,94} \quad \frac{(10\bar{3})}{8,63} - \frac{(103)}{8,68} \quad (130) \quad (013) \quad \frac{(30\bar{1})}{11,3} - \frac{(301)}{12,6} \quad (031) \quad (031)$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2}$$

$$\frac{(11\bar{3})}{3,16} - \frac{(113)}{3,17} \quad \frac{(31\bar{1})}{4,14} - \frac{(311)}{4,15} \quad \frac{(13\bar{1})}{9,53} - \frac{(131)}{9,53}$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4}$$

$$\frac{(40\bar{1})}{5,43} - \frac{(401)}{5,44} \quad \frac{(10\bar{4})}{14,3} - \frac{(104)}{14,4} \quad (041) \quad \frac{(014)}{17,1} \quad \frac{(410)}{24,9} \quad (140)$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{2}{2}$$

$$\frac{(42\bar{1})}{9,43} - \frac{(421)}{9,44} \quad \frac{(24\bar{1})}{17,5} - \frac{(241)}{17,5} \quad \frac{(21\bar{4})}{22,2} - \frac{(214)}{22,3} \quad \frac{(41\bar{2})}{28,1} - \frac{(412)}{28,3}$$

$$\frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{4}{4} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \quad \frac{1}{1}$$

$$\frac{(12\bar{4})}{30,3} - \frac{(124)}{30,4} \quad \frac{(14\bar{2})}{68,6} - \frac{(142)}{68,6}$$

$$\frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2} \quad \frac{2}{2}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \langle 40\bar{3} \rangle - (403) & (043) & (30\bar{4}) - (304) & \underline{(034)} & \underline{(430)} & (340) \\ 7,04 & 7,09 & 17,8 & 24,7 & 24,9 & 49,1 & 56,9 & 75,8 \\ 4 & 4 & 4 & 2 & 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \langle 62\bar{1} \rangle - (621) & (26\bar{1}) - (261) & (21\bar{6}) - (216) & (12\bar{6}) - (126) \\ 16,0 & 16,0 & 37,5 & 37,5 & 38,5 & 38,7 & 46,6 & 46,7 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 1 & 1 & 2 & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc} (61\bar{2}) - \underline{(612)} & (16\bar{2}) - (162) \\ 54,2 & 54,4 & 148,5 & 148,6 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc} \langle 44\bar{7} \rangle - (447) & (74\bar{4}) - (744) & \underline{(47\bar{4})} - (474) \\ 31,2 & 31,3 & 141 & 141 & 230 & 230 \\ 4 & 4 & 2 & 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc} \langle 84\bar{1} \rangle - (841) & (48\bar{1}) - (481) & \underline{(41\bar{8})} - (418) & \underline{(81\bar{4})} - (814) \\ 37,1 & 37,1 & 69,4 & 69,4 & 77,0 & 77,4 & 100,5 & 101 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc} (14\bar{8}) - (148) & (18\bar{4}) - (184) \\ 117 & 117 & 270 & 270 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \langle 12.4.\bar{1} \rangle - (12.4.1) & \underline{(4.1.\bar{1}2)} - (4.1.12) & (4.12.\bar{1}) - (4.12.1) & (1.4.\bar{1}2) - \\ 63,3 & 63,3 & 142 & 143 & 149 & 149 & 183 \\ 4 & 4 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 4 & 4 & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc} (1.4.12) & (12.1.\bar{4}) - (12.1.4) & (1.12.\bar{4}) - (1.12.4) \\ 183 & 205 & 206 & 590 & 590 \\ 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 2 & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc} \langle 44\bar{1} \rangle - (441) & \underline{(41\bar{4})} - (414) & (14\bar{4}) - (144) \\ 21,4 & 21,4 & 37,8 & 38,1 & 78,3 & 78,4. \\ 4 & 4 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 2 & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc} \langle 44\bar{3} \rangle - (443) & \underline{(43\bar{4})} - (434) & (34\bar{4}) - (344) \\ 23,0 & 23,1 & 69,8 & 70,0 & 88,7 & 88,9 \\ 4 & 4 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 2 & 2 \end{array}$$

(30 $\bar{1}$)	(201)	(22 $\bar{1}$)	(121)	(31 $\bar{1}$)	(310)	(211)	(130)
7,92	8,37	8,47	8,74	8,92	8,96	9,37	9,88
2	1	$\frac{1}{2}$	2	1	1	2	1
(10 $\bar{2}$)	(11 $\bar{2}$)	(13 $\bar{1}$)	(031)	(21 $\bar{2}$)	(22 $\bar{1}$)	(012)	...
10,5	11,5	11,8	11,9	12,2	12,4	12,5	
2	1	1	2	2	$\frac{1}{2}$	2	
(041)	...	(441)					
18,9		36,9					
$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$					

La forme principale est (100), face constante et clivage parfait. (010) et (110), la première clivage imparfait, viennent ensuite, ces trois formes déterminant l'allongement prismatique et la forme octogonale du prisme dominant. (10 $\bar{1}$), (001), (11 $\bar{1}$), moins importantes, sont communes. (001) est même clivage imparfait. Au delà, les anomalies sont nombreuses. Notamment (22 $\bar{1}$) et (221) sont des formes communes. En y regardant de plus près, on constate ceci :

Les formes qui sont plus importantes que ne l'indiquerait le classement ci-dessus sont : (001), plus important comme forme et comme clivage imparfait que (10 $\bar{1}$), puis (20 $\bar{1}$), (101), (111), (021), (22 $\bar{1}$) (221), (041), (441). A part (101), ce sont toutes des formes pour lesquelles $p + q$ est pair.

Les formes qui sont moins importantes que ne l'indiquerait le classement ci-dessus sont : (10 $\bar{1}$), (011), (210), (120), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$), etc. Ce sont des formes pour lesquelles $p + q$ est impair. On est conduit ainsi à considérer ces formes comme révélant un réseau secondaire du mode octaédral avec face (001) centrée, et ayant d'ailleurs un paramètre c double de celui du réseau principal (c'est-à-dire le paramètre c clas-

sique). Les coefficients k portés au tableau ci-dessus sont ceux par lesquels il faut multiplier l'aire S de chaque forme pour avoir l'aire S' qu'elle présente dans le réseau secondaire. On remarque alors que, comme dans les cas précédents, le tableau des formes du réseau principal par aires croissantes se divise en trois zones : dans la première, jusqu'à $(11\bar{1})$ incluse, toutes les formes existent quelle que soit la valeur de k . Le réseau principal est prépondérant. Toutefois l'importance exagérée de (001) révèle déjà l'influence du réseau secondaire, car pour cette forme $k = \frac{1}{2}$.

Dans la seconde zone, de (011) à (021) incluse, à part (101) toutes les formes pour lesquelles $k = 2$ n'existent pas. Toutes celles pour lesquelles $k = 1$ sont connues. Il est manifeste que le réseau secondaire rend bien compte ici de l'importance exagérée de $(20\bar{1})$, (111) , (021) et de l'importance diminuée de (011) , (210) , etc.

Dans la troisième zone, enfin, seules existent les formes pour lesquelles $k = \frac{1}{2}$. La considération du réseau secondaire rend compte, ici encore, de l'importance exagérée de $(22\bar{1})$, (221) , (041) , (441) .

Biotite. — Je citerai encore comme particulièrement intéressant l'exemple des micas. Les mêmes faits se retrouvent dans les diverses variétés, mais je prendrai pour type la biotite, dont les cristaux ont des faces extérieures mieux définies et plus nombreuses, semblant au premier abord échapper à toute loi.

L'orientation adoptée par Dana, qui est celle que Tschermak a proposée en dernier lieu, est défectueuse. Elle attribue au mica un réseau pseudo-orthorhombique et pseudo-sénaire qui n'est fondé sur rien. Si cette orientation était correcte, on verrait coexister, au moins pour les formes principales,

les deux formes (pqr) - (pqr) correspondantes en vertu de la pseudo-symétrie orthorhombique. Or il n'existe *pas un seul* groupe semblable. Le réseau du mica n'a rien de pseudo-orthorhombique. Il n'est pas davantage pseudo-ternaire. Les seuls groupes complets de formes correspondantes en vertu de la symétrie pseudo-ternaire supposée sont en effet (notation Tschermak) : (110) - (010) , (130) - (100) , $(10\bar{2})$ - (134) , $(10\bar{1})$ - (132) , $(20\bar{5})$ - (135) . Le premier se compose de (110) , forme douteuse, et de (010) , forme constante et très importante. Dans le réseau correctement déterminé par la loi de Bravais, (110) a une aire beaucoup plus grande que (010) et il n'y a en effet aucune parité d'importance entre ces deux formes. Quant aux autres groupes, leurs deux formes conservent la même aire dans le réseau correct, en sorte que l'existence de ces groupes n'est nullement caractéristique de la pseudo-symétrie ternaire. Trois d'entre eux portent sur des faces rares. Seul $(10\bar{1})$ - (132) a quelque importance. Il n'y a donc en résumé, dans les formes des micas, *aucune trace quelconque* de pseudo-symétrie du réseau.

Ce réseau est purement et simplement clinorhombique, avec un très grand paramètre c qui permet par suite aisément de trouver des rangées relativement simples quasi-normales à la face (001) . Mais aucune rangée *conjuguée* du plan (001) n'est quasi-normale à ce plan. Pour définir le réseau, il faut prendre pour axe des z la rangée $[10\bar{2}]$ de Tschermak. C'est celle des rangées conjuguées du plan (001) qui est le plus près d'être normale à ce plan. Puis il faut multiplier par $\frac{2}{3}$ le paramètre de cette rangée. Les paramètres sont alors

$$a : b : c = 0,577 : 1 : 2,191, \quad \beta = 84^{\circ}58'.$$

La face (001) est centrée.

Chose assez remarquable, ce sont là les paramètres autrefois adoptés par Tschermak.

Avec ces paramètres, on a

$$S^2 = 3,023 p^2 + q^2 + 0,210 r^2 + 0,140 pr;$$

S est à doubler quand $p + q$ est impair.

Les premières formes se classent ainsi par densités décroissantes :

<u>(001)</u>	<u>(010)</u>	<u>(110)</u>	<u>(111)</u>	<u>(021)</u>	<u>(111)</u>	<u>(112)</u>
0,21	4	4,02	4,09	4,21	4,37	4,58
<u>(011)</u>	<u>(112)</u>	<u>(113)</u>				
4,84	5,14	5,49				

(001) est la forme de beaucoup dominante et le clivage parfait.

Les formes (010) (b), (110) (M), (111) (μ), (021) (γ), (111) (o), et surtout b , M , μ , o , sont incontestablement les formes dominantes après (001). Notamment M , que Tschermak note (221), alors qu'il note (110) une forme douteuse, est bien la forme qui convient le mieux comme prisme primitif. Les cinq ou six formes principales conduisent ainsi sans ambiguïté au réseau que nous venons d'indiquer.

On remarquera d'ailleurs que, par rapport à (001), toutes les formes peuvent être considérées comme secondaires. Dès lors, il n'est pas étonnant que des anomalies se présentent dès les premiers rangs. Une première anomalie se manifeste par le fait que γ (021) est notablement moins commune que o (111). Puis des formes inconnues, (112), (112), (023), etc., viennent s'insérer dans la série, dans laquelle les formes connues s'espacent de plus en plus. Ici encore, par conséquent, les formes principales fixent nettement le réseau,

mais il y a de nombreuses anomalies dans les formes secondaires.

Peut-on, par la considération d'un réseau secondaire, rendre compte de ces anomalies?

Examinons les notations des formes anormales (toutes très secondaires). Ce sont surtout :

(331) (335) (061) (391) (094) (0.18.7) (0.15.4)
(091) (3.3.23) (21.21.13) (995) (27.27.11) (991)
(991) (3.3.19) (3.3.13) (3.3.11) (27.27.25)
(15.15.7) (397)

Il est manifeste que, s'il est impossible de choisir pour les formes principales un autre réseau que celui que nous avons adopté, d'autre part, pour les formes secondaires ci-dessus, ce réseau ne convient pas. Le fait que les nombreuses formes secondaires ci-dessus ont leurs caractéristiques p et q multiples de 3 indique qu'elles doivent dépendre d'un autre réseau. Multiplions c par 3. Alors les notations des faces ci-dessus deviennent :

(111) (115) (021) (131) (034) (067) (054) (031)
(1.1.23) (7.7.13) (335) (9.9.11) (331) (331)
(1.1.19) (1.1.13) (1.1.11) (9.9.25) (557) (137)

La grande abondance des formes pour lesquelles p , q et r sont alors impairs indique que ce réseau secondaire, s'il existe, a toutes ses faces centrées. Ce réseau secondaire rend-il compte convenablement des anomalies?

Remarquons d'abord que, comme il est aisé de s'en assurer, le réseau secondaire obtenu en triplant le paramètre c du réseau principal et en centrant toutes les faces de la maille

ainsi obtenue est identique au réseau défini par les nouveaux paramètres de Tschermak, à la condition seulement de centrer la base de celui-ci.

Établissons la liste des formes du réseau principal par ordre de densités décroissantes, en affectant chaque forme du coefficient par lequel il faut multiplier son aire pour obtenir l'aire qu'elle présente dans le réseau secondaire supposé :

<u>(001)</u>	<u>(010)</u>	<u>(110)</u>	<u>(111)</u>	<u>(021)</u>	<u>(111)</u>		
S ² = 0,21	4	4,02	4,09	4,21	4,37		
k = $\frac{2}{3}$	1	2	1	2	1		
<u>(112)</u>	<u>(011)</u>	<u>(112)</u>	<u>(113)</u>	<u>(023)</u>	<u>(113)</u>	<u>(114)</u>	<u>(012)</u>
4,58	4,84	5,14	5,49	5,89	6,33	6,82	7,36
2	1	2	1	2	1	2	1
<u>(114)</u>	<u>(115)</u>	<u>(025)</u>	<u>(115)</u>	<u>(116)</u>	<u>(013)</u>	<u>(201)</u>	<u>(130)</u>
7,94	8,57	9,25	9,97	10,7	11,6	12,0	12,0
2	1	2	1	2	1	2	2
<u>(131)</u>	<u>(100)</u>	<u>(131)</u>	<u>(101)</u>	<u>(116)</u>	<u>(132)</u>	<u>(201)</u>	<u>(132)</u>
12,1	12,1	12,4	12,4	12,4	12,6	12,6	13,1
1	1	1	1	2	2	2	2
<u>(203)</u>	<u>(117)</u>	<u>(133)</u>	<u>(101)</u>	<u>(027)</u>	<u>(102)</u>	<u>(133)</u>	<u>(203)</u>
13,1	13,3	13,5	13,5	14,3	14,3	14,3	14,8
2	1	1	1	2	1	1	2
<u>(117)</u>	<u>(221)</u>	<u>(041)</u>	<u>(118)</u>	<u>(102)</u>	<u>(135)</u>	<u>(221)</u>	<u>(223)</u>
15,3	16,0	16,2	16,3	16,6	16,6	16,6	17,1
1	2	2	2	1	1	2	2
<u>(014)</u>	<u>(043)</u>	<u>(103)</u>					
17,4	17,9	18,0					
1	2	1					
<u>(135)</u>	<u>(118)</u>	<u>(136)</u>	<u>(223)</u>	<u>(119)</u>	<u>(225)</u>		
18,0	18,6	18,7	18,8	19,8	19,9		
1	2	2	2	1	2		

Suivent ~~soixante-dix~~ formes, toutes inconnues, pour lesquelles $k = 2$ ou 1, puis :

(33̄)

36,0

13

A ce moment apparaissent, les premières depuis (001), des formes pour lesquelles p et q sont toutes deux ensemble nulles ou multiples de 3. Pour celles-là, le coefficient k est $\frac{1}{3}$, ou parfois $\frac{2}{3}$. Aussitôt, après cet intervalle énorme de soixante-seize rangs, apparaissent les formes existantes, toutes secondaires, mais nombreuses. Reprenons la liste à partir de (331) :

(331)	(061)	(332)	(156)	(247)	(031)	(331)	(157)
36,0	36,2	36,2	36,4	36,4	36,8	36,8	37,3
$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	2	2	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1
(123)	(334)	(332)	(316)	(106)	(157)	(032)	(335)
37,3	37,9	37,9	38,3	39,0	39,3	39,4	39,4
1	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	2	1	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
(158)	(247)	(334)	(065)	(317)	(034)	(158)	(335)
40,3	40,3	41,2	41,2	41,4	42,0	42,6	43,6
2	2	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{1}{3}$	2	$\frac{1}{3}$

• • • • •

La liste se continue ainsi, les *seules* formes existantes au delà étant celles pour lesquelles k est égal à $\frac{1}{3}$, ou parfois $\frac{2}{3}$. Pour ne pas allonger indéfiniment ce tableau, j'indique ci-après toutes les formes connues restantes :

[illegible]

<u>(397)</u>	<u>(3.9.14)</u>	<u>(3.3.23)</u>	<u>(091)</u>	<u>(991)</u>	<u>(991)</u>	<u>(0.18.7)</u>
121,4	155	157	325	325	327	334
$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$
<u>(094)</u>	<u>(995)</u>	<u>(15.15.7)</u>	<u>(15.15.13)</u>	<u>(0.15.4)</u>		
337	337	901	913	914		
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$		
<u>(21.21.13)</u>	<u>(27.27.25)</u>	<u>(27.27.11)</u>				
1848	2967	3000				
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$				

Ainsi, la liste des formes du réseau principal se divise, ici encore, en trois zones :

Dans la première, de (001) à (111) incluse, toutes les formes existent, quelle que soit la valeur de k . Ce sont les formes principales. Toutefois, même là, les formes pour lesquelles $k = 1$, c'est-à-dire (111) et (111), ont leur importance exagérée aux dépens de celles pour lesquelles $k = 2$, c'est-à-dire (110) et surtout (021).

Dans la deuxième zone, de (112) à (103) incluse, les formes pour lesquelles $k = 2$ disparaissent totalement. Il n'existe que des formes pour lesquelles $k = 1$.

Vient ensuite la troisième zone, qui débute par une longue suite de 76 formes non existantes pour lesquelles $k = 1$ ou 2.

A partir de (331) enfin, apparaissent les coefficients $k = \frac{2}{3}$ ou $\frac{1}{3}$, et avec eux une nouvelle et longue série de formes connues, qui, toutes sans exception, sont affectées de ces petits coefficients. Toutes celles qui sont affectées des coefficients 1 et 2 sont inconnues.

Est-ce à dire que toutes les anomalies soient expliquées? Nullement. Mais elles le sont en très grande partie, et le fait me semble, comme dans les cas précédemment examinés, extrêmement frappant. Il reste, comme anomalies, que dans

la seconde zone il y a des formes pour lesquelles $k = 1$ et qui, cependant, ne sont pas connues, telles (113) , (013) , $(13\bar{1})$ ⁽¹⁾, (100) , $(11\bar{7})$, $(13\bar{3})$, (101) ; et de même dans la troisième zone $(33\bar{2})$, (331) , (332) , $(33\bar{5})$, (034) En tout état de cause, ces formes doivent être très peu importantes, et il serait extraordinaire que toutes eussent été rencontrées. Mais si le réseau secondaire ne rend pas compte absolument de tous les faits connus, y compris les faits négatifs, ce qu'on ne peut assurément exiger, il exprime néanmoins beaucoup de choses. Il nous permet de trier, après les formes principales, dans la longue liste des plans réticulaires du réseau principal, un nombre réduit de formes parmi lesquelles se trouvent toutes celles qui sont connues dans la biotite à titre de faces secondaires, et d'éliminer comme n'existant pas un très grand nombre de formes de la série. Ce sont, à partir de (111) , toutes celles pour lesquelles $k \neq 2$, puis, à partir de $(10\bar{3})$, toutes celles pour lesquelles $k = 1$ ou 2.

Il y a donc bien nettement dans la biotite, comme dans les espèces précédentes, l'indication de deux réseaux, multiples simples l'un de l'autre. L'un, le réseau principal, détermine les formes principales. Il est clinorhombique, sans aucune pseudo-symétrie, avec les anciens paramètres de Tschermak et la base centrée. L'autre, dont l'influence est nulle sur les formes les plus importantes et se fait sentir de plus en plus à mesure que les densités réticulaires, dans le réseau principal, diminuent, finit par déterminer seul les formes tout à fait accessoires. On peut le définir avec les mêmes axes en triplant le paramètre c du réseau principal et centrant toutes ses faces. Ou bien encore, il est défini par les nouveaux paramètres de Tschermak en centrant la base.

(1) $(13\bar{1})$ est connue dans la muscovite et la zinnwaldite.

Ce réseau secondaire est pseudo-sénaire. Complicquant les formes principales et inadmissible pour elles, il convient cependant pour simplifier les notations des formes secondaires. On voit bien, maintenant, pourquoi les cristallographes, même en se basant sur la loi des caractéristiques simples, ont été conduits à hésiter entre ces deux réseaux, et ceux-là seulement. Chacun des deux joue un rôle dans les propriétés discontinues de l'espèce.

Interprétation possible du double réseau. — On sait comment la loi d'Haüy et la loi de rationalité des paramètres symétriques, ou bien encore la loi de Bravais qui les englobe toutes deux, en les précisant, dans une même formule, s'interprètent par l'hypothèse physique de la périodicité du milieu cristallin homogène. On peut imaginer que le réseau que définit la loi de Bravais figure la période de ce milieu, le réseau cristallin.

D'autre part, on sait aussi que, pour rendre compte des transformations paramorphiques, on a été conduit à concevoir le milieu cristallin comme composé de particules identiques diversement orientées, réparties aux sommets d'un réseau sous-multiple simple du réseau cristallin. Je rappelle que deux réseaux sont dits *multiples* ou *sous-multiples* (ce qui revient au même) *l'un de l'autre* quand ils ont mêmes plans réticulaires. Ils sont multiples simples l'un de l'autre si leurs paramètres correspondants sont multiples simples les uns des autres.

Ce réseau sous-multiple simple du réseau cristallin, c'est le réseau matériel.

Pour que le réseau matériel réponde à son but, il faut qu'il soit le même, à part de légères déformations, pour deux formes d'un même composé susceptibles de passer de l'une à l'autre par voie de transformation paramorphique.

Nous venons de voir que, dans certaines espèces cristallines (et je pourrais en citer d'autres exemples), la loi de Bravais révèle non seulement un réseau, mais deux réseaux distincts, qui sont multiples simples l'un de l'autre. Cela suggère immédiatement un rapprochement avec la théorie du réseau matériel. Le réseau principal, qui détermine les formes et clivages principaux, serait le réseau cristallin. Car ces formes et clivages principaux changent du tout au tout dans les transformations paramorphiques. Le réseau secondaire, qui ne transparaît que dans les indications des formes accessoires, pourrait être considéré comme représentant le réseau matériel. L'image serait, semble-t-il, extrêmement satisfaisante. Mais, pour qu'elle soit acceptable, il faudra trouver des cas de paramorphisme certain où les deux formes présentent, avec deux réseaux principaux distincts, le même réseau secondaire. Il y a, malheureusement, de grandes difficultés à trouver des cas où une étude complète des formes de deux variétés paramorphes d'un même composé soit possible, ces deux variétés n'étant généralement pas stables toutes deux à la même température. Je n'ai pu, jusqu'ici, examiner à ce point de vue que des cas de paramorphisme douteux, comme celui de la calcite et de l'aragonite. La calcite montre des traces indubitables d'un réseau secondaire hexagonal qui, par contre, ne se retrouve pas nettement dans l'aragonite. Mais l'exemple ne prouve rien dans un sens ni dans l'autre, le passage paramorphique de l'une à l'autre de ces deux espèces n'ayant jamais été constaté. La question reste donc ouverte.

Il n'en est pas moins intéressant de constater que la notion de double périodicité, imposée par les faits du polymorphisme, se retrouve dans l'examen détaillé des formes cristallines à la lumière de la loi de Bravais.

Minéraux nouveaux ;

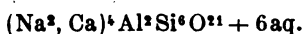
Par M. P. GAUBERT.

NOUVELLE ZÉOLITE. — Cette zéolite se présente en grains microscopiques ayant habituellement de 10^{μ} à 20^{μ} , mais pouvant atteindre 1^{mm} de diamètre. Elle est transparente et isotrope, possède un clivage suivant les faces du cube ; les cristaux ou grains sont probablement limités par les faces du trapézoèdre.

La densité est de 2,4 à 2,5 et la dureté de 3 à 4.

L'indice de réfraction, mesuré par comparaison avec celui de liquides connus, est de 1,507 à 1,508.

Aucune analyse quantitative n'a pu être faite, mais il est probable que la composition du minéral se rapproche de celle qui est représentée par la formule



Le minéral se trouve à Hainbourg, dans une roche quartzifère feldspathique à séricite, placée entre la dolomie et le granite. (A. PAULY, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XLII, 1906, p. 370.)

NOUVELLE AMPHIBOLE BLEUE. — Cette amphibole se distingue des espèces sodiques connues par son polychroïsme (n_g : rouge lilas pâle ; n_m : lilas pâle ; n_p : bleu), par son angle d'extinction ($n_p : c$) [de 16° dans les parties internes (basiques) du cristal zoné à 30° dans les parties externes (acides)] et par sa densité (2,86). Les cristaux atteignent 6^{mm} de long et sont relativement peu biréfringents.

Cette amphibole se trouve dans une roche schisteuse de Meghnagar (chemin de fer de Godhra-Ratlam, Indes centrales) et contient dans les fentes un oxyde noir de manganèse. (L.-L. FERMOR, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XIII, 1906, p. 390.)

BLOMSTRANDINE ⁽¹⁾ ET PRIORITE. — M. W.-C. Brögger a donné le nom de *blomstrandine* (en l'honneur de C.-W. Blomstrand) à un minéral cristallisé, orthorhombique, aplati suivant g^1 (010), provenant d'un filon de pegmatite granitique d'Urstad (île d'Hitterö), qu'il avait autrefois rapporté à l'œschynite; et celui de *priorite* à l'euxénite du Swaziland, décrite par M. G.-T. Prior et dédiée à ce dernier.

Les analyses de la blomstrandine de Hitterö (I), d'Arendal (II) faites par Blomstrand, et celle de la priorite du Swaziland (III), exécutée par M. G.-T. Prior, ont fourni les résultats suivants :

	I.	II.	III.
Nb ² O ⁵	17,99	23,35	36,68
Ta ² O ⁵	0,89	1,15	»
TiO ²	32,91	27,39	21,89
SnO ²	0,12	0,18	0,29
SiO ²	0,38	0,40	2,12
ZrO ²	Traces	1,33	»
UO ²	4,01	5,35	0,49
UO ³	»	»	2,14
ThO ²	7,69	4,28	0,61
(Y, Er) ² O ³	28,76	25,62	17,11
(Ce, La, Di) ² O ³	1,97	2,48	4,32
FeO	1,48	1,43	5,63
MnO	0,27	0,30	0,19
CaO	1,02	1,80	4,12
ZnO	»	0,09	»
PbO	0,06	0,84	»
MgO	0,04	0,15	0,22
Na ² O	0,22	0,90	»
K ² O	0,19	0,18	»
H ² O	1,88	2,56	3,69
	99,88	99,78	99,50

(¹) Le nom de *blomstrandite* a été donné en 1894 par G. Lindström à un tantalonibate amorphe, découvert à Nohl, et dont la constitution est douteuse.

La blomstrandine et la priorite sont des métaniobates et métatitanates de R' [Fe, Ca, Mn, Zn, Pb, Na^2 , K^2 , (UO) (ThO)] et de R'' (Y, Er, Ce, La, Di). Dans la blomstrandine de Hitterö, les sels de l'acide métaniobique $HNbO^3$ sont à ceux de l'acide métatitanique H^2TiO^3 dans le rapport de 1 : 3; dans celle d'Arendal, ce même rapport est 1 : 2 et dans celle de Swaziland (priorite) de 1 : 1. La blomstrandine se distingue de l'oeschynite par la faible quantité de cérium qu'elle contient.

Les cristaux de blomstrandine d'Urstad (île d'Hitterö) sont aplatis suivant g^1 (010) et présentent les formes dominantes g^1 (010), g^2 (130), p (001) et fréquemment $e^{\frac{1}{2}}$ (021). Les formes m (110), g^2 (120), $b^{\frac{1}{2}}$ (111), a^1 (101) sont peu développées.

Les cristaux peuvent atteindre de grandes dimensions. Une partie d'un cristal brisé de la collection de l'Université de Christiania pèse 3^{ks}.

De la valeur des angles $(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = 42^\circ 17'$ et $(111) : (110) = 32^\circ 44'$ on tire

$$a : b : c = 0,4746 : 1 : 0,6673.$$

La blomstrandine se trouve à Urstad, à Eitland (Vanse, ouest de Farsund), Frikstad (Iveland, Sætersdal), Lunde-kleven (Evje, Sætersdal); Mörefjær, à l'est d'Arendal; Satterö, près d'Arendal.

La comparaison, au point de vue chimique et cristallographique, des séries euxénite-polycrase et blomstrandine-priorite a amené M. Brögger à faire les deux suppositions suivantes : 1° les deux séries sont identiques au point de vue cristallographique ; 2° elles représentent deux modifications dimorphes du même mélange. L'auteur admet la seconde hypothèse.

Dans le même travail M. Brögger montre que les cristaux d'annerödite sont constitués par le groupement à axes parallèle de cristaux de columbite et de samarskite.

W.-C. BRÖGGER, *Die Mineralien der südnorwegischen Granitpegmatitgänge* : 1. Niobate, Tantalate, Titanate und Titanoniobate (*Videnskabs Selskabs Skrifter. Math. Naturv. Klasse*, 1906, n° 6).

MARIGNACITE. — Les cristaux de cette variété de pyrochlore se présentent en octaèdres réguliers atteignant 3^{mm} de diamètre. Leur densité est de 4,13 et leur dureté de 5 à 5,5. L'examen microscopique montre qu'ils présentent des anomalies optiques.

La composition est la suivante :

Ch² O³ 55,22 ; Ta² O³ 5,86 ; Si O² 3,10 ; Ti O² 2,88 ; Fe² O³ 0,50 ; Fe O, 0,02 ; Ce² O³ 13,33 ; Y² O³ 5,07 ; Th O² 0,20 ; Ca O 4,10 ; Mg O 0,16 ; Na² O 2,52 ; K² O 0,57 ; H² O

(au-dessus de 110° : 5,95 ; au-dessous de 110° : 0,45). Total = 99,93.

L'auteur admet que la silice entre dans la composition du minéral, ce qui le distingue surtout des autres pyrochlores. Ce minéral, dédié à Marignac, se trouve dans une pegmatite à 9 milles nord-ouest de Wausau, Wisconsin.

S. WEIDMANN et Victor LENHER, *Amer. Journ. of Sc.*, avril 1907, p. 287.

KLEINITE. — La kleinite se présente en cristaux hexagonaux dont la couleur est jaune de soufre ou orangée, la densité 7,441 et la dureté de 3 à 4.

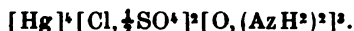
M. A.-J. Moses a probablement signalé l'existence de cette espèce minérale (voir le *Bull. de la Soc. fr. de Min.*, t. XXVI, 1903, p. 306) dans sa description des nouveaux minéraux des mines

de mercure de Terlingua, mais n'avait pu faire l'analyse complète, faute de matière.

A. Sachs a trouvé qu'il existait dans ce minéral les quantités suivantes de AzH^3 et de SO^3 pour 100 :

	Variété jaune.		Variété orange.
	I.	II.	III.
AzH^3	0,44	1,09	2,79
SO^3	1,05	0,85	2,57

Les quantités de ces deux substances étant variables, il est à supposer qu'elles n'existent dans le minéral qu'à l'état de mélange, de telle sorte que la formule probable est $Hg^4Cl^2O^2$. Cependant, si l'on admet que ces corps entrent dans la molécule, on peut faire plusieurs hypothèses; mais la plus plausible est que la composition est représentée par la formule



En se basant sur cette formule, les résultats des analyses peuvent être exprimés de la manière suivante :

	Variété jaune.		Variété orange.
	I.	II.	III.
Hg.....	86,52	86,29	85,29
Cl.....	6,79	6,96	6,97
SO^3	1,26	1,02	3,09
AzH^3	0,41	1,03	2,63
O.....	5,02	4,70	2,02
Total....	100,00	100,00	100,00

Le minéral, dédié à l'ancien professeur de l'Université de Berlin, M. C. Klein, se trouve dans les mines de mercure de Terlingua (Texas). (A. SACHS, *Sitz. d. Kgl. Akad. d. Wiss. Berlin*, 21 déc. 1905, et *Centralblatt für Min.*, etc., 1906, p. 200.)

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES TRAVAUX ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE TOME XXX.

	Pages.
BARDET (G.). — Inclusions de quartz, de rutile et de sidé- rose dans un quartz de l'Uruguay.....	101
BOURGEOIS (L.). — Rapport du Trésorier.....	1
COPAUD (H.). — Sur le polymorphisme du chlorate de soude et sur la structure de sa forme cubique, douée de pou- voir rotatoire.....	84
— Henri Moissan (1852-1907).....	270
— Étude chimique et cristallographique d'un silicomolyb- date de potassium et d'argent.....	292
FRIEDEL (G.). — Réponse à M. Mügge au sujet des axes ter- naires irrationnels.....	6
— Observations relatives aux cristaux fluides.....	69
— Sur un nouveau gisement de pilolite (lassallite).....	80
— Études sur la loi de Bravais.....	326
GAUBERT (P.). — Sur les indices de réfraction de quelques minéraux.....	104
— Sur la double réfraction accidentelle de la bromyrite....	266
— Minéraux nouveaux.....	267, 324, 456
GLASSER (E.). — Note sur une espèce minérale nouvelle, la <i>népouite</i> , silicate hydraté de nickel et de magnésie... 17	17
GONNARD. — Observations au sujet d'une Note de M. E. Bou- bée « <i>Sur un nouveau gisement uranifère français</i> ».	41
— Addition à l'étude cristallographique de la bournonite des mines de Pontgibaud (Puy-de-Dôme).....	62

	Pages.
LACROIX (A.). — Sur deux gisements nouveaux de métavol- tite.....	30
— Note sur la minéralogie du pays de Mahafaly (Mada- gascar.....	36
— Les minéraux des fumerolles de l'éruption du Vésuve en avril 1906.....	219
ROMEU (A. DE). — Les roches filoniennes paléozoïques non granitiques des Pyrénées.....	110
WALLERANT (Fred). — Sur les enroulements hélicoïdaux dans les corps cristallisés.....	43
WOULFF. — Sur les propriétés optiques des mélanges iso- morphes (<i>Réponse à M. G. Wyruboff</i>).....	282
WYROUBOFF (G.). — Sur les propriétés optiques des mé- langes isomorphes.....	94
— Sur les silicotungstates d'indium.....	277
— Quelques mots à propos des observations de M. Woulff.	289
— Sur les nitrates doubles des métaux alcalins et des terres de la célite.....	299

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME XXX.

ABRÉVIATIONS USITÉES DANS CETTE TABLE.

<i>An.</i>	Analyse.	<i>Isom.</i>	Isomorphisme.
<i>Ch.</i>	Étude chimique.	<i>Min. nouv.</i>	Minéral nouveau.
<i>Const.</i>	Constitution.	<i>Opt.</i>	Étude optique.
<i>Crist.</i>	Cristallographie.	<i>Pétr.</i>	Étude pétrographique.
<i>Group.</i>	Groupement.	<i>Pol. rot.</i>	Polarisation rotatoire.
<i>Gis.</i>	Gisement.	<i>Rep.</i>	Reproduction.

A

Almandin (A. LACROIX), 37.
Alunite (A. LACROIX), 33.
Alunogène (A. LACROIX), 35.
Amphibole sodique (nouvelle)
 (A. LACROIX), 62.
Amphibole bleue nouvelle (min.
 nouv.) (FERMOR), 456.
Andésite augitique à augite
 (pétr.) (DE ROMEU), 71.
 — à hornblende, augite et andésine
 (pétr.) (DE ROMEU), 181.
Anglésite (A. LACROIX), 237.
Anhydrite (A. LACROIX), 246.
Apatite (opt.) (P. GAUBERT), 108;
 — (opt.) (DE ROMEU), 146, 183.
 — (crist.) (G. FRIEDEL), 426.
 — **artificielle** (crist.) (DE SCHUL-
 TEN), 268.

Aplites (pétr.) (DE ROMEU), 118.
Ariégites (pétr.) (DE ROMEU),
 118.
Arsénolite (A. LACROIX), 259.
Atélite (A. LACROIX), 226.
Augite (pétr.) (DE ROMEU), 125,
 160, 175.
Axes ternaires irrationnels (G.
 FRIEDEL), 6.
Azotate de sodium (opt.) (WAL-
 LERANT), 55.

B

Barkévicitte (pétr.) (DE ROMEU),
 186.
Beryllonite (opt.) (P. GAUBERT),
 108.
Biotite (pétr.) (DE ROMEU), 145, 183.
 — (crist.) (G. FRIEDEL), 447.

Blomstrandine (min. nouv.)
(BRÖGGER), 457.
Bournonite (crist.) (GONNARD), 62.
Bromyrite (opt.) (P. GAUBERT), 266.
Bytownite (A. LACROIX), 40.

C

Calcite (A. LACROIX), 326.
Carphosidérite (A. LACROIX), 33.
Chalcanthite (A. LACROIX), 218.
223.
Chalcolite (GONNARD), 42.
— (crist.) (G. FRIEDEL), 428.
Chalcosine (crist.) (G. FRIEDEL),
413.
Chloraluminite (A. LACROIX), 254.
Chlorate de soude (polym., pol.
rot.) (COPAUD), 30, 84.
Chlorarséniate de plomb (min.
nouv., ch., crist.) (DE SCHUL-
TEN), 62.
Chlorocalcite (A. LACROIX), 255.
Chloromagnésite (A. LACROIX),
254.
Chloromanganokalite (A. LA-
CROIX), 243.
Chloronatrokalite (A. LACROIX),
242.
**Chlorure de cuivre et de potas-
sium** (A. LACROIX), 224.
Chlorure de potassium (A. LA-
CROIX), 223, 244.
— **de sodium** (A. LACROIX), 223,
244.
Cipolin (A. LACROIX), 38.
Claudérite (A. LACROIX), 260.
Coorongite (min. nouv.) (CUM-
MING), 268.
Copiapite (A. LACROIX), 35.
Coquimbite (A. LACROIX), 35.
— (crist.) (G. FRIEDEL), 431.
Cotunnite (A. LACROIX), 226.
Cryptohalite (A. LACROIX), 264.

Cyanochroïte (A. LACROIX), 218,
223.
— (crist.) (G. FRIEDEL), 428.

D

Détermination des feldspaths
(DE ROMEU), 111.
Diabase intersertale (pétr.) (DE
ROMEU), 158.
Diopside (A. LACROIX), 39.
Diorites amphiboliques (pétr.)
(DE ROMEU), 118.

E

Enroulements hélicoïdaux (cris-
tal.) (WALLERANT), 43.
Epidote (pétr.) (DE ROMEU), 167.
— (crist.) (G. FRIEDEL), 383.
Épididymite (crist.) (G. FRIEDEL),
395.
Eudidymite (crist.) (G. FRIEDEL),
395.
Eriocalcite (A. LACROIX), 224.
Erythrine (opt.) (P. GAUBERT),
107.
Erythrosidérite (A. LACROIX),
218, 252.

F

Feldspaths (opt., pét.) (DE RO-
MEU), 135, 145, 161, 174, 176.
— (détermination des) (DE RO-
MEU), 111.
Fumerolles (A. LACROIX), 219.

G

Gabbros amphiboliques (DE RO-
MEU), 118.
Galène (A. LACROIX), 229.
— **argentifère** (spect.) (DE GRA-
MONT), 109.

Garniérîte (GLASSER), 17.
Gisement uranifère (GONNARD), 41.
Glaubérîte (A. LACROIX), 236.
Glycolique (acide) (opt.) (WALLERANT), 49.
Gneiss (A. LACROIX), 36.
Gorceixite (opt.) (P. GAUBERT), 108.
Granites (pétr.) (DE ROMEU), 117.
Gypse (A. LACROIX), 33.

H

Halite (A. LACROIX), 222, 239.
Hématite (A. LACROIX), 233.
Heulandite (ind.) (P. GAUBERT), 105.
Hiératite (A. LACROIX), 33.
Hornblende (A. LACROIX), 39.
 — (crist., opt., pét.) (DE ROMEU), 125, 135, 144.
Hornblendites (pétr.) (DE ROMEU), 118.
Hyalite (A. LACROIX), 32.
Hydroquinone (opt.) (WALLERANT), 53.

I

Inclusions de quartz dans le quartz (BARDET), 102.
Indices de réfraction (WYROUBOFF), 94.
 — (P. GAUBERT), 104.
Isomorphisme (WYROUBOFF), 94, 282, 289.
 — (terres rares) (WYROUBOFF), 319.

K

Kaïnite (crist.) (G. FRIEDEL), 379.
Kalinite (A. LACROIX), 33.
Kaolinite (A. LACROIX), 37.
Kieserite (crist.) (G. FRIEDEL), 381.

Kleinite (min. nouv.) (SACHS), 459.

Kremersite (A. LACROIX), 253.

L

Labradorite amphibolique à hornblende (an., crist., opt. pét.) (DE ROMEU), 131.
 — **augitique** (pétr.) (DE ROMEU), 163.
Langbeinite (A. LACROIX), 236.
Lassallite (G. FRIEDEL), 80.
Leverriérîte (A. LACROIX), 38.
Leadhillite (crist.) (G. FRIEDEL), 438.
Lherzolites (pét.) (DE ROMEU), 117.
Lois de Bravais (G. FRIEDEL), 326.

M

Magnétite (A. LACROIX), 233.
Malonamide (opt.) (WALLERANT), 45.
Marignacite (min. nouv.) (WEIDMANN et LENHER), 459.
Mascagnite (A. LACROIX), 258.
Méllanothallite (A. LACROIX), 225.
Métavoltite (A. LACROIX), 5, 30, 35.
Microdiorites à labrador et hornblende (an., crist., opt., pét.) (DE ROMEU), 140, 146.
Microgranites (pétr.) (DE ROMEU), 118.
Mirabilite (A. LACROIX), 223.
 — (crist.) (G. FRIEDEL), 444.
Moissan. Notice nécrologique (CO-PAUX), 270.
Molysite (A. LACROIX), 251.

N

Nantokite (A. LACROIX), 223.
Népouite (min., nouv., an., desc.) (GLASSER), 17.

Nitrates hydratés de cérium et rubidium (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 300.

— **de cérium et césium** (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 305.

— **de cérium et pyridine** (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 311.

— **de lanthane et rubidium** (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 302.

— **de lanthane et césium** (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 306.

— **de lanthane et potassium** (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 308.

— **de lanthane et sodium** (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 309.

Nitrates hydratés de didyme et rubidium (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 303.

Nitrates des métaux alcalins et de terres rares anhydres (opt., crist., ch.) (WYROUBOFF), 312.

— (isomorphisme) (WYROUBOFF), 319.

Nouméite (GLASSER), 17.

O

Olivine (A. LACROIX), 39.

Opale (A. LACROIX), 265.

Ophites (pétr.) (DE ROMEU), 117, 163.

P

Palmiérite (min. nouv., an., opt.) (A. LACROIX), 234.

Paraluminite (A. LACROIX), 32.

Péridotites à hornblende (pétr.) (DE ROMEU), 118.

Pharmacosidérite (opt.) (GAUBERT), 108.

Photographie en couleurs des minéraux (BARDET), 217.

Picromérite (A. LACROIX), 218, 223.

Pilolite (an., opt.) (G. FRIEDEL), 80.

Plagioclases (pétr.) (DE ROMEU), 145, 159, 169, 177.

Pléonaste (A. LACROIX), 39.

Polarisation rotatoire (WALLERANT), 43.

Priorite (min. nouv.) (BRÖGER), 457.

Pseudocotunnite (A. LACROIX), 228.

Pseudomorphose (minéral indéterminé) (A. LACROIX), 242.

Pyrite (A. LACROIX), 232.

Pyrrhotite (A. LACROIX), 233.

Q

Quartz avec inclusions (BARDET), 101.

R

Réalgar (A. LACROIX), 33.

— (crist.) (G. FRIEDEL), 371.

Résorcine (opt., crist.) (WALLERANT), 54.

Roches filoniennes paléozoïques non granitiques (DE ROMEU), 110.

Rutile (dans quartz) (BARDET), 101.

S

Salmiac (A. LACROIX), 222, 239, 245.

— (A. LACROIX), 33.

Santonique (acide) (opt.) (WALLERANT), 48.

Sassolite (A. LACROIX), 33.

Sel gemme (A. LACROIX), 326.

Sidérose (dans quartz) (BARDET), 101.

Silicomagnésiofluorite (min. nouv.) (ZEMIATTSCHENSKI), 267.

Silicomolybdate de potassium et d'argent (ch., crist.) (CO-PAUX), 292.

Silicotungstates d'indium (ch., crist., opt.) (WYROUBOFF), 277.

Soufre (A. LACROIX), 33.

— (A. LACROIX), 260, 264.

— (crist.) (G. FRIEDEL), 365.

Stéphanite (crist.) (G. FRIEDEL), 407.

Sulfates de magnésie et de cobalt (isom.) (WALLERANT), 109.

— **de cuivre et de cobalt** (isom.) (WALLERANT), 93.

— **de plomb et de potassium** (min. nouv.) (A. LACROIX), 270.

Sylvite (A. LACROIX), 222, 239, 245.

Syngénite (opt.) (P. GAUBERT), 107.

T

Tartrique (acide) (pol. rot.), (WALLERANT), 50.

Ténorite (A. LACROIX), 226.

Tourmaline (crist.) (G. FRIEDEL), 355.

Tourmaline lithique (A. LACROIX), 93, 291.

Trona (A. LACROIX), 247.

Tschermigite (A. LACROIX), 258.

U

Uranite (GONNARD), 42.

V

Vanadates (A. LACROIX), 326.

Vanthoffite (A. LACROIX), 236.

Vésuve (minéraux des fumeroles, 1906) (A. LACROIX), 219.

Voltaïte (A. LACROIX), 34.

W

Wagnérite artificielle (crist.) (DE SCHULTEN), 218.

Willémité (opt.) (P. GAUBERT), 108.

Y-Z

Yttrocraïte (min. nouv.) (HIDDEN, WARREN), 324.

Zéolite nouvelle (min. nouv.) (PAULY), 456.

Zoisite (crist.) (G. FRIEDEL), 393.

p

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.

